

ȘTIINȚA PENTRU TOȚI  
**143**

FLORIN ZĂGANESCU

# Tectitele — mesageri extraterestri?



Știința pentru toți

Cunoștințe despre Univers





FLORIN ZĂGĂNESCU

25/12

## Tectitele — mesageri extraterestri?

COLECȚIA „ȘTIINȚA PENTRU TOȚI”

apare sub egida

CONSILIULUI NAȚIONAL

AL

FRONTULUI DEMOCRAȚIEI ȘI UNITĂȚII SOCIALISTE



EDITURA ȘTIINȚIFICĂ ȘI ENCICLOPEDICĂ  
BUCUREȘTI, 1981

## 1. „TECTITELE? — O IMPORTANTĂ PROBLEMĂ ȘTIINȚIFICĂ...”

„... În concluzie, după un studiu pe care-l apreciem ca detaliat asupra tectitelor descoperite în Australia, așa-numitele „australite”, am ajuns la concluzia că aceste obiecte fac parte din interiorul lunar. Ele au ajuns pe Pământ cu mult timp în urmă, străbătând atmosfera terestră cu viteze cosmice”.

.....

Acestea sînt, în rezumat, aprecierile finale ale comunicării susținute de doi specialiști ai Administrației americane pentru aeronautică și spațiu (N.A.S.A.) în cadrul celui de al XIII-lea Congres internațional de aeronautică (Varna, 1962), referat [2] intitulat sugestiv „Originea lunară a tectitelor”. Avînd în vedere și larga arie de răspîndire pe glob a tectitelor, precum și importanța studierii lor pentru cercetările teoretico-experimentale de aeronautică (în special pentru analiza modului în care au suportat în timp aceste corpuri, de forme diferite, puternicele efecte termice ale încălzirii aerodinamice la traversarea cu viteze foarte mari a straturilor dense ale atmosferei), ulterior cercetările asupra acestor misterioase „pietre cerești” au fost reluate.



De la început trebuie arătat că, deși în linii generale opinia specialiștilor mai sus citați își menține valabilitatea, ea a suferit unele modificări determinate de analiza și a altor tipuri de tectite. Astfel, s-a schimbat părerea inițială conform căreia aceste „pietre cerești” au fost „smulse” din scoarța superficială selenară prin impactul asupra ei a meteoritelor ce au „bombardat” și continuă să „bombardeze” și în prezent suprafața satelitului natural al Pământului...

Dar să revenim la tectite... Asemenea corpuri, cu forme curioase, cu aspect sticlos și contur destul de... aerodinamic, au fost descoperite în diferite regiuni foarte depărtate între ele, pe toate continentele Pământului\* și chiar pe insule înconjurate de ocean. Ele au primit denumirea de *tectite* de la cuvântul de origine greacă „tektos”, care înseamnă „topitură”, și — după aspect — amintesc de roca sticloasă vulcanică din obsidian, având însă o compoziție chimică complet diferită de a oricărei roci din lava terestră: toate tectitele analizate conțin mult mai puțină apă și nici unul dintre microcristalele caracteristice lavei obsidiane. Așa cum a subliniat încă din anul 1787 mineralogul austriac Josef Mayer, în locurile unde au fost descoperite asemenea tectite nu a fost detectată niciodată materie ce ar putea fi considerată primară („mutterstein” — rocă mumă). Ca urmare, ipoteza că aceste tectite ar putea proveni în urma unei vechi activități vulcanice terestre nu poate fi admisă. Contrar ipotezelor avansate de unii cercetători, printre care paleogeograful M. A. Agrest, tectitele nu provin din bucăți de rocă terestră puternic arse de jetul motoarelor-rachetă nucleare din dotarea navelor inter-

siderale ale unor presupuși vizitatori extraterestri ai planetei noastre!... De fapt, Agrest a pornit cu această fantezistă presupunere de la cercetările unor fizicieni care, bombardând cu un flux intens de electroni bucăți de sol nisipos, au obținut un fel de „tectite artificiale” și au avansat ideea că ele ar putea apare și în natură prin acțiunea trăznetului asupra formațiunilor nisipoase...

Dacă se exclude și posibilitatea ca aceste „pietre curioase” să fie produse de mîna omului, fie el chiar o ființă extraterestră (!), precum și ipoteza că ar fi rămășițe ale unor planete sau comete explodate în timpuri imemorabile, atunci nu rămîn decît două ipoteze principale privind originea atît de controversată a tectitelor: fie provin din Lună, fie din interiorul Pământului...

Natura terestră a tectitelor a fost susținută de mulți specialiști, printre care și unii cercetători în domeniul aerodinamicii vitezelor hipersonice (viteze de peste 5 ori mai mari decît viteza de propagare a sunetului în mediul respectiv). Conform acestor opinii, tectitele ar putea fi bucăți de rocă sedimentară smulsă din scoarța terestră ca urmare a impactului acesteia cu meteoriti de masă importantă. Explozia aferentă impactului putînd lansa bucățile topite de rocă direct în cosmos, acestea suferă un dublu proces de topire (la ambele traversări ale atmosferei dense terestre — ieșire și re-intrare), ceea ce ar putea explica topirea și reorganizarea materialului în interiorul picăturilor, acoperite cu gheață la traversarea spațiului cosmic... Este adevărat că, din analiza formei și a repartiției elementelor în unele tectite („australite”, „bediasite” etc.), s-a ajuns la concluzia că ele au străbătut cu viteze cosmice (între 8 și 11 km/s) atmosfera terestră, fiind supuse unor puternice încălziri cine-

\* Vezi cap. 6.

tice; fenomenul a fost, se pare, determinant pentru reorganizarea interioară a dispunerii elementelor după greutatea lor atomică. De asemenea, analiza unor plăcuțe foarte subțiri, detașate prin mijloace laser din tectitele provenind din Georgia, care au fost supuse acțiunii unor fascicule de lumină polarizată, a arătat că tectitele respective au suferit tensiuni foarte puternice... De la acest fapt s-a pornit și pentru studierea din punct de vedere aerodinamic a tectitelor denumite australite. Astfel, în sufleria aerodinamică pentru viteze hipersonice de la Langley Field (California, S.U.A.), s-a demonstrat experimental că aceste corpuri au traversat atmosfera terestră căpătînd o formă corespunzătoare și un perfect profil aerodinamic la trecerea prin „coridorul aerodinamic stabil”...

Desigur, considerarea Lunii ca sediul inițial al materiei de proveniență a tectitelor a fost și rămîne, chiar după ce Luna a fost amplu cercetată, una din cele mai atrăgătoare ipoteze. Inițial, pornind de la ideea „bombardamentului” meteoritic, specialiștii au fost înclinați să aprecieze ca posibilă lansarea tectitelor în cosmos ca urmare a impactului meteoritilor cu suprafața selenară. Analiza vechimii tectitelor, efectuată prin datarea radioactivă cu metoda carbonului-14 sau metoda argon-potasiu, a demonstrat vîrste foarte vechi, de exemplu circa 35 milioane de ani pentru tectitele răspîndite în bazinul Nord American. Or, etapa cînd bombardamentul meteoritic pe Lună a fost în plină ascensiune este apreciată la mai multe zeci de milioane de ani (conform specialistului sovietic B. Y. Levin, care a opinat, printre primii, că acest proces a stat la baza formării craterelor selenare).

A admite că, în urma impactului cu un mare meteorit (care a lovit scoarța lunară cu imensa

energie corespunzătoare unei viteze cuprinse între 15 și 60 km/s), unor bucăți de scoarță selenară li s-ar fi putut imprima o viteză de eliberare (circa 2,5 km/s în cazul Lunii), nu părea deloc o ipoteză care să contravină legilor mecanicii și aerodinamicii. Totuși, trebuia să se accepte, aproape fără rezerve, că — odată cu acest impact (de fapt, același lucru trebuia admis și în cazul lovirii scoarței terestre tot de meteoriți, apreciați deci ca un fel de responsabili ai tectitelor) — au existat mecanisme și procese capabile concomitent de acțiuni mecanice (propulsare în cosmos) și fizico-chimice (eliminarea instantanee a apei și omogenizarea materialului rocii inițiale). Cam multe cerințe în același timp!

Pînă la data cînd a fost posibilă o amplă analiză fizico-chimică a solului selenar, sprijinitorii teoriei tectitelor prin bombardament al solului selenar cu meteoriți capabili să smulgă și să propulseze în cosmos cu viteze cosmice aceste curioase pietre cerești se pare că au avut aproape total cîștig de cauză. Acum însă s-a demonstrat convingător, prin cercetări chimice și fizice, că nu există nici o asemănare între materia scoarței superficiale lunare și compoziția tectitelor găsite pe Pămînt!

Se impunea găsirea unei teorii noi, care să excludă originea terestră, să corespundă cu rezultatele de laborator ce au atestat procesul de topire la traversarea atmosferei terestre, să nu contravină datărilor prin metoda argon-40 — potasiu-40 și să aibă în vedere... Selena ca loc de baștină al tectitelor. Se pare că este meritul dr. John A. O'Keefe [8] de a găsi principalele argumente în acest sens.

Înainte de a prezenta ipoteza și concluziile la care a ajuns dr. O'Keefe, este cazul să cităm din lucrarea sa următoarele: „... Dacă am admite ori-



ginea terestră a tectitelor, atunci trebuie să admitem că au existat fenomene și procese prin care bucăți de rocă sau sol terestru comun ar fi fost instantaneu transformate în bucăți sticloase de rocă cu o compoziție omogenă nouă, fără nici un pic de conținut de apă, care să fi fost propulsate în cosmos, prin atmosfera Pământului, cu viteze de zeci de mii de kilometri pe oră. Dacă tectitele susținem că provin din Lună, trebuie să admitem că unul din cei mai puternici vulcani de pe Lună a erupt acum 750 000 de ani. Nici una din aceste variante nu este ușor de admis, totuși una dintre ele trebuie acceptată, iar eu cred că trebuie admisă cea mai rezonabilă și de eliminat cea mai de necrezut..."

Din cele de mai sus rezultă, în primul rând, ipoteza avansată — ulterior și sprijinită — de dr. O'Keefe, potrivit căreia pe Lună au existat activități vulcanice foarte intense, capabile să propulseze în spațiu bucăți de magmă selenară cu viteze de eliberare ce le permit să ajungă în zona de atracție a planetei noastre. De aici și pînă la pătrunderea în atmosfera terestră, cu tot „cortegiul” de fenomene aferente acestei „excursii” foarte calde, nu a mai fost decît un pas, pas ce a presupus însă numeroase studii și cercetări, cărora specialiști de valoare le-au consacrat lucrările lor în ultimele două decenii. ([6], [8], [12], [13]).

## 2. „BOMBARDAMENTUL METEORITIC” ȘI „ASTRO-PROBLEMELE”\*, ASTĂZI ȘI ÎN TRECUTUL ÎNDEPĂRTAT

Un strălucitor bloc incandescent aureolat de o coroană galben-albăstruie, în care aerul „ardea” la peste 20 000 kelvini, urmat de o trenă sclipitoare de gaze ionizate luminoase, a traversat cerul provinciei chineze Kiria cu peste 18 000 km/h, la data de 8 martie 1976 orele 15<sup>h</sup> 2<sup>min</sup> (ora locală), explodînd cu o detunătură foarte puternică și eliberînd — sub forma unei jerbe de pietre incandescente — peste 150 de fragmente, care s-au răsplat pe o arie de 500 km<sup>2</sup>... Analiză unei părți din fragmentele care cîntăresc cca 2700 kg (cel mai mare are 1,7 t) atestă prezența siliciului, magneziului, aluminiului, fierului, nichelului, sulfului și calciului. Este, deci, vorba de un meteorit pietros clasic. Ceea ce este mai interesant rezultă însă din studiile cercetătorilor japonezi Susumoto Imoto și Ichiro Hasegava, care au arătat analogia dintre acest fenomen recent și căderea unui meteorit în Coreea, în anul 316 î.e.n., sau fenomenul de „stea

\* Denumire dată craterelor de impact de pe suprafața unei planete, mai mult sau mai puțin nivelate de fenomenele de eroziune. A fost propusă de geologul american Robert S. Dietz.

căzătoare" consemnat într-o sursă chineză din anul 1022. Cercetătorii chinezi au găsit și ei o analogie surprinzătoare dintre recenta bombardare meteoritică și un alt fenomen, petrecut în urmă cu trei milenii, despre care unii autori afirmau că ar fi fost produsă de distrugerea unei nave extraterestre!

La 7 februarie 1969, către orele 1 noaptea, un uriaș meteorit cădea lângă Hidalgo del Parral, în provincia Allende din Mexic. Acest obiect ceresc, denumit meteoritul Allende, a explodat înainte de a atinge solul, acolo ajungând sute de fragmente răspândite pe o arie de 150 km diametru, dintre care cel mai mare cântărea 110 kg. Din acel moment, savanții au avut la dispoziție peste 2 tone de substanță meteoritică de tip pietros, varianta de hondrit C3, care conține sferule mici de silicați, bogate în aluminiu, calciu, titan etc., dispuse într-o masă neagră conținând carbon și nichel. Analize ulterioare au permis obținerea de informații foarte prețioase privind cosmogonia sistemului solar, asupra cărora vom reveni la finalul prezentei lucrări.

Desigur, oamenii au observat și au fost dintotdeauna impresionați de căderile de meteoriți, așa-numitele „stele căzătoare”, dar explicațiile au fost dintre cele mai controversate, de multe ori chiar fundamental greșite. Dacă milenii de-a rindul respectivele fenomene au fost puse pe seama forțelor supranaturale, în schimb primele reflexii lucide au provenit din cronică chineză Se-Ki (sec. II î.e.n.): „un meteorit este o stea care cade pe Pământ”, părere susținută și de Anaxagoras (500—428 î.e.n.) — „stelele căzătoare sînt frînturi căzute din soare”, de Apollonius (262—180 î.e.n.) — „... stele care, căzînd din cer, se sting...”, precum și de alți gînditori antici. În schimb, nu aceasta a fost opinia promovată de Aristoteles (384—322 î.e.n.), care afir-

ma în mod greșit că „meteoriții sînt un fenomen a cărui explicație trebuie căutată exclusiv în atmosfera Pămîntului”, deoarece „ei ar proveni din apropierea de Soare a unor vapori, care astfel se înfierbîntă și chiar se aprind”. Datorită autorității lui Aristoteles, această credință greșită s-a menținut timp de aproape două milenii, bineînțeles însă cu o serie de corectări neesențiale, originea cosmică a meteoriților fiind contestată chiar pînă la sfîrșitul secolului XVIII. Însuși Kepler credea că bolizii ce întilneau atmosfera planetei proveneau din „exhalațiile Pămîntului” (un fel de vapori), deși încă de pe timpul lui Plutarh acești bolizi păreau mai mult a fi, cum afirma însuși vizionarul Jules Verne: „... mase minerale cosmice, care se prăbușesc pe solul globului nostru cînd sînt prinși în trecere, de atracția terestră” [14]. Se pare, totuși, că prima consemnare a căderii unui bolid incandescent pe solul Pămîntului ar fi cuprinsă într-un papyrus egiptean, vechi de 4 milenii, care se păstrează în muzeul „Ermitage” din Leningrad.

Impresionantele fenomene care însoțesc intrarea în atmosferă și prăbușirea pe sol a marilor meteoriți au constituit o continuă alimentare a superstițiilor, care explicau aceste întîmplări prin manifestări ale unor zeități, cîstind și divinizînd chiar „pietrele cerești”. Exemple elocvente sînt constituite de: „piatra sfîntă” numită Hadșar-el-Asvad, din moscheea Kaaba (orașul Mecca); „piatra fulgerului” adusă la Roma din Galatia de romani și adorată ca simbol al zeiței Cibella; „piatra trăznitului” considerată sursa datorită căreia spada lui Antar, erou popular din antichitate, îl făcea de neînvins... La fel, un meteorit căzut în statul actual Arizona (S.U.A.) era divinizat de indienii din tribul Hopi ca reprezentantul zeului focului venit din cer



pe pământ, iar locul căderii în deșertul Adrar din Africa de vest a unui mare meteorit constituie și în prezent locul sfânt de pelerinaj al preoților de cult cunoscut sub numele de șamani. În Groenlanda, în cel de al doilea deceniu al secolului XVIII, a fost descoperit un mare meteorit cunoscut sub numele de „Ahnighito” sau „Cortul zeilor” adorat de eschimoși, care credeau că armele confecționate din metalul cuprins în acest meteorit feros (siderolit) îi făceau de neînvins. Cele peste 33 de tone ale meteoritului au fost încărcate de exploratorul Peary pe o corabie și aduse într-un muzeu. Probabil că de la găsirea acestui meteorit s-a inspirat Jules Vernes în lucrarea [14], când și-a dirijat năstrușnicul bolid în zona de coastă a Groenlandei...

Desigur, au fost numeroase căderi de meteoriți consemnate de cronici sau în presa vremii; este regretabil că oamenii de știință nu le-au acordat mai din timp locul cuvenit. Astfel, o sursă arabă aminteste, de pildă, de o „ploaie de stele” văzută în anul 1029 la Cairo. În anul 1492, în apropierea localității alsaciene Einsisheim, a fost semnalată și apoi recuperată și expusă, o „piatră cerească” cu masa de 127 kg (pe placa comemorativă era trecută inscripția: „Despre această piatră mulți știu multe, fiecare câte ceva, însă nimeni deajuns!”). Meteoritul care a căzut în anul 1514 într-un târgușor din Ungaria a fost expus în biserica locală și, pentru a nu dispărea, a fost legat cu lanțuri! O piatră cerească fierbinte a căzut în 1763 la Lucé, lângă localitatea franceză Chartres, iar în 26 mai 1751 un glob de foc care emitea scînteii foarte strălucitoare a traversat cerul zonei estice a Germaniei, spre a exploda aproape de localitatea croată Agram. Despre raportul țăranilor gasconi, care au descris căderea unui meteorit în ziua de 24 iulie 1790 orele 21, Academia Franceză

a referit uimitor de naiv: „Din cer nu pot cădea pietre” (!?), deși savantul și naturalistul elvețian Scheuchzer arătase încă din 1697 ce legătură există între dîra de foc și pietrele care „cad din cer”. La puțină vreme după căderea meteoritului de care am amintit că provocase ilarianta decizie a Academiei Franceze, savantul rus Hladnii interpretase meteoriții ca fragmente ale unor planetoizi care, intrînd în atmosfera Pămîntului, se dezintegrează, se topecs și apoi cad pe sol. Abia raportul academicianului J. P. Biot, după căderea meteoritului de lângă Căen (26 aprilie 1803) care s-a răspîndit în peste 1000 de fragmente pe o zonă, eliptică cu semiaxa mare de 11 km, a atestat că „pietrele pot cădea și din cer” [11].

Desigur, au căzut și numeroase alte „pietre din cer”, ele fiind studiate și catalogate de oamenii de știință, ajutîndu-i în cercetările geofizice.

Atenția specialiștilor a fost atrasă în mod special la 13 mai 1972, cînd pe suprafața Lunii s-a prăbușit un meteorit gigantic care a provocat un crater de dimensiunile unui teren de fotbal. Aparatele plasate pe solul selenar de către echipajele de astronauți din cadrul programului Apollo au înregistrat mișcările seismice și au transmis spre Pămînt semnalele corespunzătoare. Ulterior, N.A.S.A. a transmis că aparatele montate pe satelitul Heos-A2 au înregistrat și comunicat la stațiile de urmărire de la Goldstone și din Europa, unele traiectorii urmate de particulele dizlocate din scoarța selenară și care ar putea să se apropie de sfera de atracție a Pămîntului. Ca urmare, unii dintre specialiștii de la Centrul din Darmstadt ai Agenției spațiale vesteuropene (pe atunci ELDO, Organizația europeană pentru cercetări spațiale) au apreciat că o parte din materialul lunar dizlocat prin impactul meteoritic ar putea

ajunge pe Pământ, ei dînd și nume acestor particule: *detectite*, prin analogie cu cunoscutele obiecte sticloase de proveniență probabil tot lunară, descoperite în diferite locuri pe Pământ și numite tectite.

Faptul că și în prezent Luna este supusă „bombardamentului” meteoritic, sau poate chiar al eventualității ciocnirii cu un asteroid (!), a fost corelat ulterior cu descoperirea astronomului american Eleonor Helin care, cu ajutorul telescopului de la Observatorul Mount Palomar, a descoperit (1976) în vecinătatea Pământului un asteroid cu diametrul de 3,5—4 km, despre care s-a afirmat că „... ar putea deveni primejdios pentru planeta noastră”, deoarece traiectoria sa, în drumul său în jurul Soarelui întretaie orbita Pământului. Un amănunt: dacă ciocnirea se va produce, ea ar putea să aibă loc doar după 24 milioane de ani.

Desigur, și astăzi cad meteoriți pe Pământ. Directorul Observatorului astronomic din Bochum (R.F.G.), profesorul Heinz Kaminski, afirma recent că zilnic Pământul „adună” o cantitate de meteoriți și pulberi meteoritice cuprinsă între 300 000 și 500 000 de tone. Căderile cele mai importante au loc anual în luna august cînd, conform declarațiilor specialistului german, deasupra Arcticii, Antarcticii și piscurilor din munții Alpi pot fi observate licăriri roșii și cafenii. Căderile de meteoriți în perioada cînd Pământul străbate zona ce cuprinde norul de fragmente ale cometei Temple-Shift (care a trecut în anul 1967 prin apropierea planetei noastre), sînt evidențiate prin miile de urme luminoase lăsate de pulberile care ard traversînd atmosfera terestră, pîrînd că vin din constelația Perseus (de unde și denumirea de *perseide*).

Din cînd în cînd, în atmosfera Pământului pătrund și meteoriți mai mari, așa cum este cazul

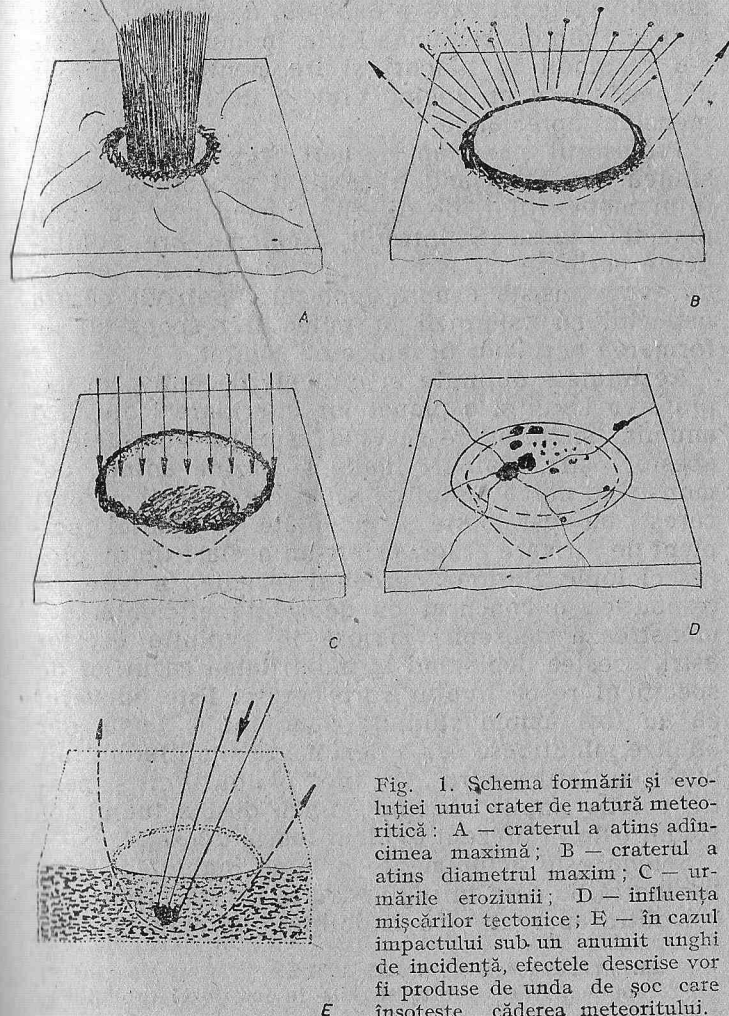


Fig. 1. Schema formării și evoluției unui crater de natură meteoritică: A — craterul a atins adîncimea maximă; B — craterul a atins diametrul maxim; C — urmările eroziunii; D — influența mișcărilor tectonice; E — în cazul impactului sub un anumit unghi de incidență, efectele descrise vor fi produse de unda de șoc care însoțește căderea meteoritului.



marelui meteorit care a explodat deasupra oraşului chinez Jinin din regiunea Kiria, în anul 1976, acesta s-a răspindit în blocuri şi fragmente de pînă la 2 tone, unele provocînd cratere de impact cu dimensiuni apreciabile.

Profesorul american Herbert Frey de la Universitatea din Maryland a analizat aspectele impactului meteoritilor, de diferite dimensiuni, cu solul planetei noastre\*; întrucît problema are conţinţe serioase cu teoriile privind apariţia tectitelor, vom insista asupra ipotezelor potrivit cărora impactul cu asteroizii ar putea fi responsabil de formarea bazinelor oceanice pe Pămînt.

Rezultatele obţinute în ultimele decenii prin explorarea Lunii şi a planetelor interioare\*\* atestă o anumită similitudine privind aspectul suprafeţelor acestor aştiri: platouri înalte şi bazine adînci, demonstrînd parcă faptul că scoarţele acestor corpuri cereşti au fost topite şi modelate, în stadiul incipient de formare al lor, printr-un acelaşi tip de proces ciclopic. Desigur, cercetări recente, în care astronautica a concurat cu deosebită eficienţă, demonstrează deosebiri majore în evoluţia acestor aştiri, acestea depinzînd în majoritatea cazurilor de specificul respectivului corp ceresc. Este adevărat că au fost amplu studiate Pămîntul şi Luna, dar analize minuţioase par a demonstra similitudini tulburătoare atît pentru „vechile” platouri, cît şi pentru relativ „noile” bazine adînci, deşi actualul lor stadiu este în prezent evident foarte deosebit.

Selena este actualmente o lume îngheţată, relativ inertă, la care întregii scoarţe îi este proprie — cel puţin aparent — o imobilitate oarecum impre-

\* În: „Icarus”, vol. 32, p. 235, 1977.

\*\* Planete a căror orbite se află în interiorul orbitei Pămîntului.

sionantă. În total contrast, Pămîntul posedă o suprafaţă dominată de o tectonică relativ aplătizată, ale cărei continente apar ca un fel de reminiscenţe ale vechii scoarţe de origine andezitică; pe de altă parte, pereţii bazinelor oceanice apar foarte „tineri”, la formarea lor participînd activ procesele de subducţie la limita dintre zonele continentale şi cele oceanice. Unele lucrări relativ recente par a susţine că scoarţa continentală, cu o grosime de circa 5 km, este mult prea viscoasă pentru a suporta şi „susţine” un proces de subducţie, ceea ce sugerează că aceste continente ar fi rămas neschimbate de mai multe sute de milioane de ani.

În prezent, autorităţile în materie de tectonică par a acredita ideea că starea suprafeţei Pămîntului în ultimele miliarde de ani a fost dominată de aşanumita „tectonică plătă”. Uneori chiar, a fost abandonată ideea de a găsi acel mecanism care ar fi putut sta la baza distrugerii a peste jumătate din crusta originală andezitică a Pămîntului, atît de devreme în istoria geologică a acestei planete numită Pămînt!

H. Frey a examinat posibilitatea ca impactul scoarţei terestre cu asteroizi, în perioada iniţială de formare a planetei noastre, să fie responsabil de declanşarea acestui distrugător mecanism; el a pornit cu demonstraţia de la similaritatea raportului dintre structurile planetelor de tip terestru (între care el plasează şi ... Luna) precum şi de observaţia, cel puţin tulburătoare pentru specialiştii, că, pe măsură ce dimensiunea acestor aştiri este mai mare, creşte şi raportul dintre scoarţa nouă şi cea veche. Astfel, acest raport este de 30 : 70 pentru Lună, 40 : 60 pentru planeta Marte şi ajunge la 60 : 40 pentru Pămînt! În cazul Lunii (şi al planetei Mercur), a apărut evident faptul că suprafaţa

a suferit, cu circa 4 miliarde de ani în urmă, un intens „bombardament” meteoritic, ba chiar impactul unor asteroizi de dimensiuni apreciabile (care au fost responsabili de formarea craterului cu diametrul de 620 km numit „Mare Orientalis”). După ce a investigat și catalogat marile bazine lunare și a estimat distribuția impacturilor cu asteroizii, Frey a folosit aceste date pentru a demonstra că Pământul nu putea evita acest uriaș „bombardament” și a evaluat efectele respective asupra scoarței originale a Pământului! Spre deosebire de Lună, care, potrivit calculelor a fost „ciocnită” de asteroizi având energia cinetică corespunzătoare pătratului vitezelor de impact cuprinse între 15 și 60 km/s, Pământul a fost lovit de acești bolizi cu viteze de 18—23 km/s. Ca urmare, circa 51% din scoarța terestră a suferit de pe urma acestui fenomen gigantic, care a condus la dizlocarea unor mase uriașe, producând bazine imense și afectarea raportului sus menționat. În conformitate cu ipotezele lui Frey, acest fenomen impresionant ar fi produs, în cazul unui bazin cu diametrul de 500 km, o adâncime la centru de circa 10 km, rocile inițiale fiind afectate pînă la dizlocarea unora de la adîncimile-record de ... 150 km! Pentru a-și verifica ideile, Frey a construit un model al scoarței terestre reproducînd pătura andezitică cu o grosime de 20 km, care ar fi acoperit o manta avînd gradientul termic cu adîncimea de 20 K/km, ceea ce ar fi însemnat că activitatea termică pe Pământ ar fi fost mult mai mare decît cea selenară. Ca urmare, litosfera relativ subțire a Pământului primitiv ar fi putut fi ușor fragmentată și, astfel, să fie ușor topită. S-ar putea ca rămășițe ale acestor topituri vulcanice, care au succedat apariția marilor bazine originare, să se mai păstreze în vechile roci denumite tufite

diabazice. În ceea ce privește platourile înalte, se pare că ele ar fi fost inițial reunite sub forma unor supercontinente, înainte ca uriașele rifturi să creeze noi oceane și continente lent deplasabile, așa cum le putem urmări astăzi... Schema lui Frey conține explicații pentru toate cunoștințele actuale privind evoluția tectonicii plate pentru Pământ din ultimele 2—3 miliarde de ani, prin comparație cu ceea ce se cunoaște privind evoluția altor suprafețe planetare din ultimele 3,5—4,5 miliarde de ani. Desigur, de formarea și evoluția marilor bazine și, în special, a oceanelor planetare, care s-au menținut ca atare pe Pământ, a depins și o altă categorie de probleme, cum ar fi formarea și dezvoltarea formelor de viață. În cazul cînd se va admite și, evident, confirma teoria lui Frey, atunci prezența, mai precis depistarea cîndva, într-un sistem planetar, a unor fluxuri de corpuri asteroidale va putea constitui un indice asupra posibilității formării, pe una din planetele aceluia sistem, a unor forme de viață și a menținerii lor în continuare.

Pornind de la teoria lui Frey, au fost emise păreri, că printre „rămășițele” acestor uriașe ciocniri întîmplăte în istoria Pământului cu miliarde de ani în urmă, ar fi și tectitele! Provenind din acele roci dizlocate de la adîncimi de 150 km din scoarța primară terestră, ele ar fi fost „picături” azvîrlite în spațiu cu viteze cosmice și care, după ce au călătorit milioane și chiar miliarde de ani, s-ar fi reîntors, pe curioase traiectorii eliptice perturbate de prezența altor astre, în cîmpul de atracție terestru, aducînd cu ele mărturii asupra evenimentelor petrecute în acele timpuri primare.

Modelul apocalipticelor fenomene, care au însoțit lovirea și modelarea scoarței terestre de către asteroizi, a fost reconstituit cu ajutorul datelor fur-



nizate de sateliți care au „inspectat” prin teledetecție zona din apropierea orașului Rochechouart din Franța, situat la o distanță de 43 km de Limoges, unde, cu aproximativ 200 milioane de ani în urmă, un asteroid de câteva miliarde de tone a lovit Pământul cu o forță uriașă. Analizând acest fenomen, pe care-l numește tipic pentru acea perioadă, dr. Dietz de la Universitatea din Arizona, arată că presiunile din interiorul Pământului au respins spre suprafață uriașul corp al asteroidului, precum și materie ejectată cu o forță nemaivăzută, totul petrecându-se ca și cum „un deget uriaș ar fi apăsât pentru o clipă dar cu o forță uriașă, «carnea» Pământului, și apoi s-a... retras singur!”

Se apreciază că după un asemenea model s-ar fi putut să apară marile depresiuni din oceane, cum ar fi groapa Marianelor (adâncime 11 500 m) sau fosa Puerto Rico (9220 m), ori groapa Tonga (9000 m), ele fiind un fel de „cicatrice” ale scoarței ca urmare a impactului „de ordinul doi” al meteoriților mari sau chiar al asteroizilor. Când acestea au lovit în oceanul planetar deja format, au provocat acele potopuri biblice de care vorbesc și alte mitologii și credințe. Chiar teoria turbionară a formării sistemului solar, conform căreia asteroizii neevoluați și rămași în afara ariilor turbionare vor fi, în timp, captați de planetele sistemului căzînd în final pe acestea, este adesea folosită pentru a se fundamenta ideea neștiințifică a unui iminent dezastru al civilizației noastre, ca urmare a căderii unui corp ceresc pe Pământ, a coliziunii planetei noastre cu indiferent ce corp ceresc, un asteroid, o cometă sau chiar o... microgaură neagră!

De fapt, perioada ciocnirilor cu asteroizii este de foarte mult timp — de ordinul sutelor de mi-

lioane dacă nu chiar al miliardelor de ani — încheiată, iar „ploaia de meteoriți” în cazul Pământului s-a „oprit” de câteva zeci de mii de ani; chiar „Meteor Crater”, despre care se afirmă că ar avea vîrsta de 80 000 de ani, constituie un caz de excepție, ca și meteoritul Tungus sau ca meteoritul Kiria. Pornind de la datele științifice, statistica arată că un caz similar acestor impacte cu meteoriți mari, capabili să lase ca urmă pe scoarța terestră un crater cu diametrul de minim 100 m, este de unul la câteva milenii; despre ciocnirea cu meteoriți mai mari, sau chiar cu asteroizi, nici nu mai poate fi vorba, cosmosul apropiat și chiar cel îndepărtat fiind bine „curățat” încă de acum câteva milioane de ani.

Totuși, oamenii de știință au atras de mai mulți ani atenția asupra importanței pe care o vor avea în viitorul relativ apropiat asteroizii care gravitează pe orbite între Marte și Jupiter, în special pentru că, avînd imense rezerve de fier și nichel, ar putea servi ca surse de materii prime în activitatea de construire direct în spațiu a marilor colonii orbitale de la începutul mileniului III. Astfel, încă din anul 1962, de la Congresul al XIII-lea de astronautică, G. M. Köhler [5] cerea să se dea atenția cuvenită miniplanetelor sau asteroizilor, al căror număr înregistrat este de cca 2000, la care se adaugă încă 600 prea puțin observate pentru a li se calcula elementele orbitei, precum și alte cca 6000 obiecte cerești „bănuite” a fi asteroizi! Majoritatea asteroizilor, cu diametre mult mai mici decît ale planetelor, gravitează în jurul Soarelui pe orbite cuprinse între cele ale planetelor Marte și Jupiter. Primul asteroid descoperit (G. Piazzi, 1801), numit Ceres, se află la cca 2,77 unități astronomice depărtare de Soare și are diametrul de 1160 km

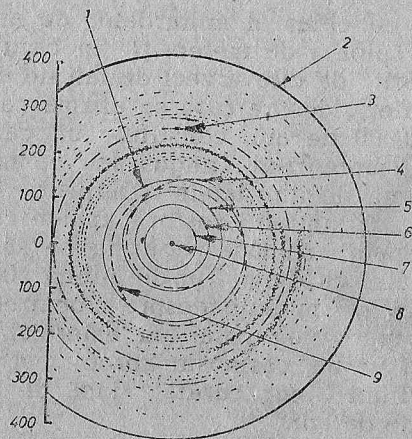


Fig. 2. Schema orbitelor planetelor și ale principalilor asteroizi care evoluează între Soare (8) și orbita lui Jupiter (2); 1 — Marte; 3 — Ceres; 4 — Geographos; 5 — Pământ; 6 — Venus; 7 — Mercur; 9 — Eros. Distanțele în milioane de mile (1 milă  $\approx 1,6$  km) [5].

(valoare obținută prin observații recente în infraroșu, renunțându-se la cea admisă pînă acum, de cca 770 km). Masa totală a asteroizilor este apreciată la cca 1/1000 din masa Pământului, deoarece numai 13 din asteroizii cunoscuți și catalogați au diametre peste 250 km, majoritatea avînd diametrele cuprinse între 20 și 40 km. Mulți poartă nume feminine, alese din mitologiile romană și elină. Asteroizii evoluează pe orbite eliptice ale căror semiaxe mari sînt cuprinse într-un inel cu diametrul de 2,3—3,3 unități astronomice, cu înclinări în medie de  $10^\circ$  și excentricități cu valoarea medie de 0,15, avînd perioade de revoluție între 3,5 și 6 ani. Întrucît numeroși asteroizi prezintă aceleași elemente orbitale, au fost relativ recent împărțiți în

nouă familii, în funcție de semiaxe mari, excentricități etc. De la această regulă fac excepție *planetele troiene*, „organizate” pe două grupe, dispuse în punctele lagrangeene\* ale sistemului Soare—Jupiter, precum și alți șase asteroizi amplasați relativ aproape de Soare: Eros, Hermes, Icarus și alții trei. În privința originii, se presupune că ei ar proveni din planeta Phaeton (care s-ar fi descompus foarte aproape de perioada formării planetelor) sau din materia care, în timpul formării sistemului solar, nu s-a putut condensa încă (!) într-o singură planetă. Studiul asteroizilor, printre care Eros, a demonstrat o mare asemănare a lor cu meteoriții, de unde și interesul pentru analiza acestora din urmă. Pornind de la ipoteza că în viitor s-ar putea extrage fier și nichel din asteroizi (raportul Universității din Cambridge, 1976), cantitatea conținută de 1 km<sup>3</sup> ar satisface consumul de fier al întregii planete timp de 15 ani, iar pentru nichel, consumul pe 1250 ani!

Desigur, pentru a analiza, măcar și teoretic, posibilitățile de a folosi cîndva rezervele de minerale din asteroizi, trebuie avut în vedere în ce măsură această explorare este posibilă și dacă există, sau vor exista, șanse de a putea face exploatarea aceasta cît de cît rentabilă. Totul trebuie pornit de la apropierea posibilă dintre Pământ (sau locul de utilizare a materialelor asteroizilor) și sursele cosmice potențiale de minereuri utilizabile. Acest calcul a fost făcut pentru majoritatea asteroizilor cu mase importante, în special cu ocazia apropierii unora dintre aceștia de Pământ. Astfel, în anul 1937

\* Zone ale spațiului în care atracțiile provocate de cîmpurile gravitaționale ale celor două corpuri cerești, își fac „echilibru”.



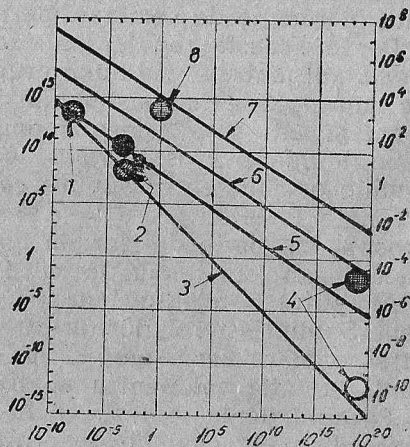


Fig. 3. Schema de principiu a distribuției roiurilor meteoritice și asteroizilor: 1 — meteorit căzut în Africa; 2 — meteorit căzut în Arizona; 3 și 5 — impacte meteoritice pe Pământ; 4 — date de la sateliți; 6 — obiecte din spațiul perilunar; 7 — obiecte evoluind la 0,2 unități astronomice; 8 — obiecte evoluind în spațiul periterestru. În ordonata stângă: masele obiectelor (kg); în ordonata dreaptă: diametrele corpurilor (m); în abscisă: frecvența anuală [5].

asteroidul *Hermes* s-a apropiat la numai 780 000 km de planeta noastră; dacă această apropiere ar mai fi durat câteva minute, s-ar fi putut produce lovirea!

Calcululele demonstrează că, pentru impactul a două corpuri cerești, trebuie îndeplinită condiția ca ambele corpuri să ajungă în același timp într-un anumit punct comun al orbitelor lor; pentru ca să existe condiția de intersectare a două orbite, există un factor de probabilitate de 1 : 1 000, iar pentru ca atunci când unul din cei doi astri ajunge în punctul de intersectare al orbitelor să-l „găsească” acolo

pe celălalt, probabilitatea devine de 1 : 1 000 000. Aceasta revine la o valoare cumulată a probabilității de 1 : 1 000 000 000!

Ca urmare, deși teoretic posibilitatea ciocnirii Pământului cu un asteroid nu este exclusă, ea este extrem de puțin probabilă. Dacă totuși, s-ar produce, se apreciază că efectele ar întrece de mai multe ori pe acelea provocate de cea mai puternică bombă termonucleară (bineînțeleas, mai puțin efectele radioactive). Dacă asteroidul ar cădea în ocean, care acoperă cca 70% din suprafața planetei noastre, s-ar produce valuri cu înălțimi de peste 1 km, cantitățile imense de apă dizlocate acoperind mari regiuni ale globului, provocând un fel de inundații nimicitoare.

Dacă ciocnirea ar avea loc la suprafața scoarței solide, s-ar produce un crater foarte mare, iar praful ridicat ar opri timp îndelungat pătrunderea luminii solare. Aceasta fără a mai aminti de declanșarea uraganelor distrugătoare, cu intensitatea unor adevărate unde balistice, declanșarea de activități vulcanice etc.

Ar fi interesant de prezentat câteva calcule și rezultate aferente scoaterii de pe orbită a unui asteroid mediu, aducerii în apropierea Pământului și chiar calculul energiilor dezvoltate la un neașteptat impact!

Cînd, în anul 1918, i-a spus fizicianului austriac Hans Thiring\*: „Ce păcat că Pământul nu are o

\* Împreună cu E. Länser a stabilit fizic și a calculat matematic valori ale precesiei relativiste în cazul mișcărilor corpurilor evoluind pe traiectorii de „cădere liberă”, deci doar sub influența forțelor gravitaționale. Verificări experimentale au fost efectuate abia în ultimul deceniu, cu ajutorul sateliților geofizici din seria „Triade”-1 [19].

Lună pe o orbită imediat în afara atmosferei sale..." marele Einstein avea în vedere posibilitatea verificării experimentale pe orbită, a unor aspecte ale teoriei relativității... Poate el se gândea la aducerea unui asteroid pe o traiectorie apropiată de Pământ, poate a prevăzut, genial, existența peste patru decenii, a sateliților artificiali... Oricum, specialiștii polonezi V. Geisler și N. Pankov au reluat ideea aducerii unui asteroid pe o orbită circumterestră, propunând (și calculând, în consecință) aducerea asteroidului Hermes (masa aproximativ un miliard de tone) pe orbită în apropierea Pământului. Deși captarea unui asteroid apare extrem de atrăgătoare — iar în prezent, când ne-am obișnuit cu multe „minuni” ale astronauticii, nu sîntem chiar copleșiți auzind o asemenea propunere —, ea pune probleme extrem de dificile, unele încă insolubile, care ar putea fi rezolvate, la timpul lor, cu totul altfel decît ne imaginăm acum...

Iată și calculele propuse, de această dată pentru alt asteroid, și anume pentru unul din „familia” Eros, avînd masa de aproximativ 11 miliarde tone, ceea ce ar corespunde la un diametru de cca 3 km. La afeliu (punctul de pe traiectorie, cel mai depărtat de Soare, 1,8078 unități astronomice), viteza asteroidului este de cca 19,184 km/s; ea trebuie redusă cu aproximativ 484 m/s pentru ca, acesta apropiindu-se de Pământ (de ex. fără să se fi întîmplat nimic, în anul 1975 Eros s-a apropiat de Pământ la „numai” 22 de milioane de km), să poată fi „captat” de planetă și să-i devină satelit „natural format artificial”! Energia care ar trebui consumată pentru modificarea vitezei asteroidului este de aproximativ  $1,3 \cdot 10^{11}$  J, adică cca 3500 miliarde kWh! Dacă ne-am imagina că această fri-

nare s-ar face cu motoare-rachetă folosind propergol format din oxigen lichid și hidrogen lichid, atunci pe asteroidul cu pricina ar trebui transportate cca 800 milioane tone de propergol! Cum depărtarea este, totuși, prea mare pentru a se folosi navele spațiale ale anului 1980, va trebui utilizat un etaj reactiv suplimentar, greutatea utilă transportabilă pe orbită limitîndu-se la numai 20 de tone pentru fiecare cursă; rezultă clar necesitatea unei „flotile” de 400 navele care, timp de zece ani, să facă nu mai puțin de 100 de curse anual! De la început această soluție trebuie abandonată. Desigur, va trebui utilizată o altă metodă, proiectul aducerii cu rachete nucleare a unor încărcături atomice de ordinul sutelor de megatone nefiind încă abandonat, deși apare primejdios pentru utilizarea pașnică ulterioară a asteroidului-satelit...

Calcule aproximative demonstrează că la periheliu (punctul de pe traiectoria circumsolară cel mai apropiat de Soare) viteza devine cca 33,7 km/s, ceea ce corespunde unei viteze a asteroidului (relativă la Pământ) de aproximativ 4 km/s, iar dacă asteroidul a fost orientat corespunzător, se va roti în jurul planetei la o altitudine de cca 20 de mii km!

Dacă, dintr-o cauză nebănuită, această periculoasă manevră de apropiere și captare a asteroidului menționat ar da greș, atunci, după ce a străbătut ca un uriaș bolid atmosfera, fiind puternic frînat și înconjurat de o plasmă fierbinte de aer puternic ionizat (ca urmare a fenomenului de încălzire cinetică), acesta s-ar ciocni cu Pământul. Cantitățile de căldură dezvoltate în amîntitul proces termoaerodinamic, de ordinul miliardelor de kilocalorii, ar transforma locul impactului cu scar-



ța terestră într-o topitorie demnă de Hefaistos (!) și căzind în oceanul planetar ar produce degajarea de vapori capabili să aducă ploaie timp de luni de zile, în toată regiunea vecină. La acestea trebuie adăugate fenomenele mecanice, respectiv formarea unui crater sau dizlocarea unor cantități uriașe de apă din oceanul planetar, care ar conduce la formarea de valuri impresionante și de potopuri apocaliptice. Este drept că fenomenul ar afecta o zonă relativ redusă și nu chiar întreaga planetă, dar aceasta s-a demonstrat numai după ce a fost construit un model matematic al acestui proces, folosind date furnizate de sateliții de teledetectie care au „inspectat” zone foarte variate ale planetei, inclusiv, probabil, și aceea unde s-au răspândit fragmentele din meteoritul Kiria. S-a ajuns astfel la concluzia că acest meteorit a făcut, cîndva, parte dintr-un asteroid, avînd o vechime estimată la peste 4 miliarde de ani și un diametru de cca 440 km, deci dintr-o „miniplanetă” din categoria celor apreciate ca utile, în viitor, pentru „alimentarea” planetei Pămînt cu minerale metalifere. Evoluînd în spațiu pe o traiectorie încă nestabilizată, asteroidul respectiv a suferit în decursul primului miliard de ani mai multe coliziuni puternice cu alte corpuri cerești și s-a sfărîmat. Este de presupus, conform analizelor fizico-chimice la care au fost supuse fragmentele recuperate, că meteoritul Kiria, aflat inițial la adîncimea de 20 km în interiorul materiei asteroidului, a fost „eliberat”, iar în procesul ultimei ciocniri, care a și dezagregat asteroidul inițial, a atins viteza de 45 km/s pe o traiectorie eliptică, pe care s-ar mai fi aflat și acum cca opt milioane de ani! Desigur, apropierea de Pămînt a provocat captarea acestui me-

teorit și topirea lui parțială sub influența încălzirii cinetice la traversarea atmosferei, astfel că pe Pămînt au ajuns doar rămășițele în greutate de numai cca 2,7 tone (din cele 5 tone cît a fost masa inițială a meteoritului).

Asteroidul Icar s-a apropiat în vara anului 1968 la numai 6,7 milioane km de Pămînt; există probabilitatea (destul de mică) ca, în 1987, cînd va reveni, să fie captat pentru a deveni primul „satelit natural format artificial”.

Ideea captării — și exploatării ulterioare a unui asteroid —, în perioada cînd apropierea unui asemenea mesager extraterestru de Pămînt este maximă, a apărut mai demult; în prezent, cînd cerințele de energie și de materii prime, pe care le are omenirea în evoluția sa foarte rapidă, sînt tot mai mari, beneficiînd de perspectivele deosebite pe care le are astronautica aplicată, această idee a fost amplificată.

Cu ocazia celei de a VII-a ediții a Conferinței mondiale de selenologie (Houston — Texas, 1976), o echipă de cercetători de la Institutul de tehnologie din Massachusetts au evidențiat posibilitatea exploatării asteroizilor bogați în fier și nichel. Conform ipotezei lor, metalele descoperite pe asemenea corpuri cerești, cu atracții gravitaționale foarte reduse, ar putea fi transformate într-un material spongios, un fel de „spumă metalică” din care ar putea fi confecționat (chiar la fața locului) un aparat spațial capabil să traverseze atmosfera Pămîntului și să amerizeze. S-a calculat, că, anual, acest sistem ar urma să furnizeze materiale ale căror prețuri sînt tot mai ridicate pe piața mondială, în valoare de peste 100 de miliarde de dolari! Apreciînd ipoteza și proiectul acestor cercetători,

dr. Mc Cord, directorul Observatorului astrofizic al aceluiași institut american, arăta: „...Nu încercăm să definim cu precizie cum și ce ar trebui să se întreprindă, ci doar se arată că este posibil, iar perspectivele le apreciem ca deosebit de atrăgătoare și neașteptat de raționale. Fără îndoială că vor trebui întreprinse acțiuni anevoioase, dar țările lumii trebuie să se pregătească pentru aceasta”. Cercetătorii americani au propus o schemă de acțiuni în acest scop: asupra unui asteroid bogat în minerale, cu diametrul de cca 1 km, șirul activităților de exploatare ar trebui să înceapă prin cunoașterea cu mare precizie a parametrilor orbitali; apoi urmează a se aduce pe solul neprietenos al asteroidului un număr apreciabil de încărcături nucleare, capabile — prin declanșare la momentul și în direcția necesară — să-l îndrepte spre Pământ, pe o orbită de transfer. Folosind propulsia gravitațională exercitată de Lună, respectiv acțiunea cîmpului gravitațional selenar, pentru îndreptarea spre Pământ, drumul asteroidului ales ar urma să dureze 400—450 de zile.

Un alt șir de impulsuri nucleare ar urma să asigure instalarea „minei cosmice zburătoare” pe o orbită sigură și stabilă în apropierea Pământului și în același timp foarte aproape de unul din sateliții-stație heliosolară; în acest fel, folosind energia solară, furnalele instalate pe asteroidul astfel captat ar transforma direct minereul bogat în fier sau nichel în lingouri de metal spongios, dar avînd forme care să se preteze la traversarea optimă a atmosferei terestre în drum spre un ocean de unde ar putea să fie recuperate.

Fără a neglija aspectul financiar al problemei, trebuie arătat că acțiuni de acest fel în cazul unui

sau mai multor asteroizi ar putea contribui substanțial la reducerea poluării mediului planetei noastre, deosebit de intensă în condițiile producerii celor două metale prin metodele și tehnicile actuale. Totodată, prin ideea propusă de acești cercetători, nu este exclusă exploatarea titanului sau a unor compuși ai carbonului.



### 3. VULCANISMUL LUNAR

Prezentarea unor detalii privind vulcanismul selenar, problemă de selenologie deosebit de importantă pentru subiectul ce se tratează în prezenta lucrare, are semnificații majore în contextul depășirii unui deceniu de la primii pași ai omului pe satelitul natural al Pământului. Pentru o mai bună înțelegere a modului în care se concepe astăzi teoria vulcanismului lunar, ca o etapă de mare importanță în cunoașterea și evoluția Lunii și, de ce nu? poate și a altor membri ai sistemului solar, apreciem ca necesară o incursiune într-una din cele mai recente teorii cosmogonice (limitate), emise de o personalitate proeminentă a cosmochimiei actuale, academicianul sovietic A. Vinogradov.

Vinogradov admite [6] că în etapa inițială exista doar Soarele, al cărui suflu incandescent a făcut să apară un imens nor discoidal de plasmă foarte fierbinte, atingând mai multe milioane de grade. La această impresionantă temperatură, este aproape sigur că densitatea discului plasmatic era foarte redusă, apropiată de a norilor terestri. Pe măsura trecerii timpului și a depărtării de Soare, plasma respectivă a început să se răcească pierzând o

parte din materia gazoasă care, odată cu „scăparea” în spațiu, se va fi transformat în materie solidă, uneori înghețând pur și simplu! Acesta este „momentul” când nebuloasa solară s-a transformat într-un nor de gaze și praf cosmic. Procesul de scăpare în spațiu a materiei calde gazoase și, totodată, de „achiziționare” de particule solidificate din același spațiu a continuat și s-a amplificat, „norul” plasmatic pierzându-și în același timp așa-numita stabilitate rotațională, ceea ce l-a condus în final la o rupere completă de Soare și la formarea de așa-numite nuclee de condensare. Aceste nuclee au interacționat, au suferit bombardamentul radiațiilor cosmice, au suferit ciocniri și procese de comasare formând diferiți compuși chimici, între care silicații, cromitele, compușii cu sulf, compușii metalici etc. Creșterea acestor nuclee de condensare a condus, în final, la formarea asteroizilor, a meteoriților, a prafului cosmic, dar și a planetelor. Acest proces a fost amplificat și „grăbit” de fenomenul de acreție a materiei reci protoplanetare; ca urmare, planetele au cunoscut doar o singură etapă de bază în formarea lor, și anume condensarea directă din materia rece a acestei aglomerări protoplanetare. Așa cum savantul Otto Schmidt demonstra ipoteza sa conform căreia frigul cosmic și nu căldura solară stă la baza formării Pământului, ca planetă, tot astfel și Vinogradov aplică aceeași teorie la analiza formării celorlalte corpuri ale sistemului solar, inclusiv la formarea sateliților acestora, pe care el, în conferința: „Pe scurt despre Lună” (1973) îi numește tot „luni” ale respectivilor aștri...

În ceea ce privește diferențierea materiei solare primare care a dat naștere planetelor din sistemul solar, A. Vinogradov opinează că aceasta ar fi ur-

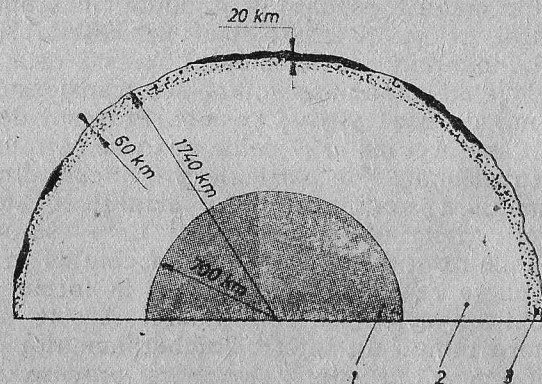


Fig. 4. Schema structurii Lunii conform datelor seismologice: petele negre reprezintă mărlile lunare din zona crustală (3) bogată în aluminiu; urmează mantaua (2), care conține roci bogate în piroxen și apoi nucleul (1), în care undele de tip „S” sînt atenuate astfel încît se presupune prezența materiei topite.

mat același proces de fuziune zonală, datorat acțiunii căldurii de origine radioactivă din interiorul respectivelor corpuri. Argumentația academicianului sovietic a fost următoarea: „Materia primară a planetelor poate produce, prin fenomene de fuziune locală, cca 15% din bazalturile aceluia astru. Crusta terestră reprezintă aproximativ 1% din grosimea mantalei. Ca urmare, formarea crustei a modificat complet suprafața primară a planetei, respectiv cea care a existat înainte de diferențierile materiei în diferitele învelișuri ale planetei așa cum le cunoaștem astăzi. Acesta este cazul Lunii, pe care au văzut-o recent astronauții și au înregistrat-o pe peliculă fie aparatele lor fotografice, fie cele automate montate pe „robotii lunari” de tipul „Luna” ori „Lunohod”. Peisajul selenar pare că ar

reprezenta, la o altă scară, imaginea Pămîntului așa cum ar fi fost cu mai multe miliarde de ani în urmă, atunci cînd ambii aștri semănau foarte mult. Apoi apa, atmosfera și celelalte „învelișuri” au acționat intens asupra anticului relief terestru, modificîndu-l continuu și foarte substanțial...

Este aici cazul de a reamînti ipotezele privind formarea Lunii, ipoteze care se mai mențin și în prezent, deși omul de știință Harold Urey, laureat al Premiului Nobel, afirma: „Dați-mi o particică de Lună și vă voi relata istoria întregului sistem solar!” Se pare că savantul a avut acces la o particică destul de apreciabilă din sutele de kilograme aduse pe Pămînt, dar originea Lunii tot sub semnul ipotezei se află!

Printre cele mai vechi ipoteze privind formarea Lunii se află cele care afirmă fie că Luna s-a separat de Pămînt în perioada inițială, fie că a fost căpatată de acesta, făcînd parte din centura de asteroizi care evoluează pe orbite mai mult sau mai puțin circulare între orbitele planetelor Marte și Jupiter\*.

\* Fizicianul suedez Hannes Alfvén, studiînd proveniența asteroizilor care gravitează pe orbite relativ apropiate între traiectoriile planetelor Marte și Jupiter, a emis o nouă ipoteză: aceste corpuri cerești nu provin dintr-o planetă explodată în timpuri imemorabile (căreia partizanii teoriei respective i-au dat numele de Phaeton), ci, dimpotrivă, ar constitui abia „materia primă” din care se va forma, într-un timp astronomic și încă nedefinit o nouă planetă! Studiînd caracteristicile orbitelor pe care evoluează asteroizii din clasa Flora, astronomul suedez a demonstrat că trei subgrupe ale acestei familii de asteroizi au orbite cu parametri extrem de apropiați valoric. De aici a tras concluzia că nu se poate afirma că ar fi provenit dintr-o explozie de protoplanetă, procesul exploziv conducînd la orbite foarte diferite. Deci, procesul de formare a planetelor continuă și în prezent!



În ambele cazuri nu se ține seama de legile mecanicii cerești! Astfel, pentru ca după „scăparea” din înclăstarea planetară a Pământului, respectiv după captarea de către Pământ, Luna să se instaleze pe o orbită, mișcarea sa inițială cu viteză mare trebuia *îrînată*; aceasta se traduce, în termeni de mecanică cerească, prin evoluția *obligatorie* pe o orbită eliptică, ceea ce nu este cazul cu Luna a cărei orbită prezintă o excentricitate foarte mică. Chiar ipotezele privind evoluția Lunii în faza sa inițială mult mai aproape de Pământ decât în prezent (asupra cărora vom reveni), pornesc de la ipoteza că Luna *trebuia* să „graviteze” pe traiectorii circulare.

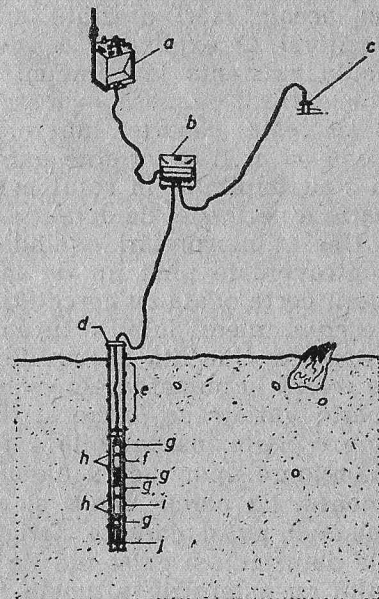
În ceea ce privește ipotezele conform cărora Pământul și Luna s-ar fi format concomitent, dintr-o materie primară, analizele privind densitatea celor două corpuri au condus la diferențe atât de apreciabile, încît și asemenea idei au trebuit abandonate.

Se pare că acum, după ce datele de cosmochimie și selenologie au permis formarea unui model al Lunii, inclusiv al etapelor parcurse de acest astru (vom reveni spre sfîrșitul acestui capitol), se acreditează următorul mod de concepere al perioadei de apariție a Lunii: într-o perioadă situată acum aproximativ 4,5 miliarde de ani, atât Pământul cît și Luna posedau numeroși sateliți, dintre care cea mai mare parte au sfîrșit prin a „eșua” pe cele două corpuri, în cadrul așa-numitului bombardament meteoritic ce a modelat relieful celor doi astri. Fără a se cunoaște exact motivul, doar Luna a „scăpat” de această „hecatombă” a ciocnirilor ciclopice dintre corpurile cerești ale acelei zone, devenind satelit al Pământului.

Pentru reconstituirea istoriei formării nu numai a sistemului Pământ—Lună, dar și a sistemului solar în ansamblu, de o mare valoare este cercetarea urmelor lăsate în meteoriți, în rocile lunare și, bineînțeles, în tectite, de profunde penetrații ale radiațiilor cosmice; acesta este și motivul pentru care li se acordă uneori acestor fragmente de roci curioase numele de „mașini ale timpului”!

Astronauții care au pășit pe solul neprietenos al Lunii au avut ocazia să vadă un peisaj apreciat în majoritatea cazurilor ca avînd o vechime de 3—5 miliarde de ani; într-adevăr, peisajul nu a mai suferit modificări substanțiale de la sfîrșitul etapei de acrecție a materiei lunare, respectiv de formare a

Fig. 5. Dispozitiv plantat pe scoarța selenară de echipajele „Apollo” pentru stabilirea gradientului termic în scoarța superficială: a — stația centrală cu sursă izotopică-SNAP; b — reparitor; c — proba a 2-a; d — protecția la radiații; e — termocuple; f — mostră superioară; g — senzori de gradient termic; h — senzori circulari; i — mostră inferioară; j — perforator.



materiei prin condensare și aglomerare a particulelor solide reci inițiale! Deși impresionează prin fixitatea sa aparentă, relieful lunar „ascunde” etape când pe Lună au avut loc mișcări tectonice, bombardament meteoritic, erupții vulcanice.

În sprijinul acestor afirmații stau mai mulți factori, printre care se numără natura și compoziția chimică a tectitelor ca fragmente provenind din materia primară din adâncimile Lunii, aruncată în spațiu și apoi înghețată, într-o perioadă când erupțiile vulcanice, combinate cu căderile marilor pietre cerești, făceau din solul selenar o regiune extrem de frământată. Astfel de măturii sînt și structura foarte asimetrică a Lunii, care prezintă mările selenare aproape exclusiv pe partea vizibilă de pe Pămînt, iar aceste mări prezintă anomalia gravitațională pozitivă! O explicație a acesteia o avem tocmai de la existența la adîncimi sub 100 km a acelor concentrații de masă — masconi — mult mai dense decît restul scoarței lunare, despre care se apreciază că ar fi de origine extraselenară, că au lovit și s-au implantat în solul moale selenar, în ultima parte a perioadei de acreație a lui.

Unele interpretări vizînd relieful lunar foarte controversate pînă nu de mult, au căpătat informații certe odată cu cercetările efectuate în ultimul deceniu, uneori luînd o turnură dintre cele mai neașteptate. Una din exemplificările acestei afirmații se referă la numeroasele cratere și circuri selenare, foarte variate ca forme și dimensiuni. Ele constituie o parte inseparabilă a reliefului selenar, asemănătoare unor jucării gigantice formate din inele imense, cu pereții înalți și avînd pante mai mult sau mai puțin abrupte. Originea lor este diferită, ele datorîndu-și existența fie vulcanilor, fie impactului cu asteroizii, ultimele fiind de regulă cu di-

menșiuni mai mici... Dar iată că în 1973, parcurgînd o falie enormă în regiunea cercului Le Monnier, robotul autopropulsat sovietic „Lunohod”-2 a recoltat probe ce au dovedit faptul că originea acestei falii nu este nici vulcanică, nici datorată impactului meteoritic, ci strict... tectonică [6]!

Acest fapt, precum și stabilirea compoziției bazaltice a majorității mărilor lunare, în timp ce regiunile muntoase conțin anortozită\*, a condus la ipoteza că în istoria formării Lunii variațiile termice au deținut un rol foarte important. Justificarea acestei afirmații poate fi obținută analizîndu-se cantitățile de uraniu-235, principalul element care a furnizat căldură prin radiații, în zona crustală (cu grosimi cuprinse între 25 și 60 km), acest izotop este de 17—20 de ori mai numeros decît în regiunea mantalei, respectiv în tectite și în meteoriti!

Deșigur, structura internă selenară mai are încă unele necunoscute, deși au și fost alcătuite modele privind stratificarea și compoziția interiorului satelitelui natural al Pămîntului; informații ample au fost culese pe bază de seismologie selenară, iar despre vulcanismul lunar există în prezent o serie de informații certe.

De fapt, descoperirea primelor cratere pe Lună se datorește observațiilor telescopice efectuate de Galileo Galilei în 1610. Ideea că Luna putea să fi fost sediul unor fenomene vulcanice este însă mai recentă, ea datînd abia din secolul XVII, dar fiind fundamentată de existența acestor cratere, despre care s-a admis, chiar de la început, că ar putea fi de origine vulcanică. Apariția unei alte alternative, originea craterelor ca urmare a impac-

\* Rocă bogată în feldspat și aluminosilicați.



tului meteoritic, a trebuit să aștepte pînă la sfîrșitul secolului XIX, cînd, în lucrarea devenită clasică „Luna” a lui G. K. Gilbert (publicată în 1893 în Buletinul societății de filozofie din Washington), se emitea ipoteza formării craterelor selenare ca urmare a unei serii de ciocniri cu suprafața „astrului nopții” a multor meteoriți și chiar asteroizi. Controversa declanșată de publicarea acestui articol avea să se încheie odată cu aducerea pe Pămînt a primelor mostre de rocă și praf selenar, cu ajutorul stațiilor automate sovietice din seria „Luna” și de către astronauții participanți la programul „Apollo”.

Examinarea miilor de clișee transmise de cele cinci misiuni „Lunar Orbiter” din perioada 1966—1967 și de aparatele montate pe cabinele Apollo, apoi edificatoarele examinări ale rocilor și a celorlalte eșantioane aduse de astronauți și vehiculele automate lunare au permis depășirea etapei controverselor, concluzia fiind următoarea: în adevăr, cea mai mare parte a craterelor selenare sînt de origine meteoritică, evidențiindu-se chiar impactul cu obiecte foarte mari, cu diametre de ordinul zecilor de kilometri, dar rocile de natură vulcanică acoperă o mare parte a feței vizibile de pe Pămînt a Lunii (ca urmare a sincronizării mișcării satelitului natural pe orbită cu rotația planetei în jurul axei sale, pe Pămînt se poate observa o singură față a Lunii). Astfel, mările lunare — acele zone de culoare mai închisă de pe discul lunar vizibile chiar cu ochiul liber, prezente aproape în exclusivitate pe fața vizibilă de pe Pămînt — sînt integral constituite din roci vulcanice. Ca urmare a rezultatelor obținute de misiunile selenare sus-menționate, știința este astăzi în măsură să prezinte

un model corect și chiar un bilanț al vulcanismului selenar.

Mările lunare se află localizate, în principal, în următoarele trei tipuri de regiuni: centrul marilor

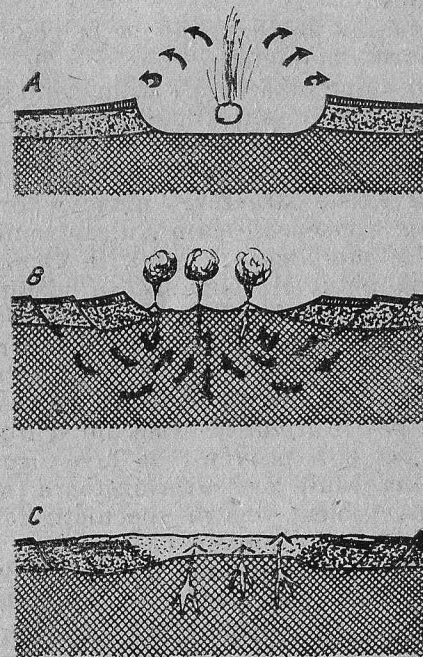


Fig. 6. Schema formării craterelor lunare datorită impactului (ipoteza prof. D. Wise). A — impactul poate provoca aruncarea materiei selenare la mii de km; B — apariția vulcanilor în bazinul astfel format produce aport de material din interior; C — bazinul poate să se umple — parțial — dar cu material mai puțin dens ca restul scoarței de la suprafață.

structuri de impact, limitate de zone montane circulare (numite „bazine selenare” sau, uneori, cînd prezintă un con central în mijloc, „circuri selenare”); interiorul unor depresiuni extrem de vaste și de formă neregulată; interiorul unor imense cratere de impact.

Adîncimea lor poate varia de la cca 1 km în mările de formă neregulată, cum ar fi Oceanus Procellarum, și chiar pînă la 5 km, în centrul marilor bazine sau circuri lunare, situație întîlnită la Marea Imbrium, mare cu diametrul de 500 km [1], [4].

Cercetările de fotogeologie selenară au stabilit că pe Lună există structuri vulcanice diverse, în general bine conservate prin vulcanismul final al mărilor celor mai tinere. Astfel, în Oceanus Procellarum, au putut fi asimilate cu vîrfuri de conuri de erupție a lavelor sau de aruncare a pulberilor vulcanice (cenușe) mai multe categorii de domuri și conuri aplatizate, dar cu mici cratere superioare; la fel, în Marea Imbrium, pe parcursul a sute de km pot fi urmărite urme ale scurgerilor de lave, care par a fi provenit de la o fisură lungă de cca 20 km. Mult mai surprinzătoare (mult timp au constituit subiect pentru speculații fantastice), faliile sinuoase, care păreau că „izvorăsc” din canioane cu lungimi de ordinul sutelor de kilometri, au putut fi astăzi descifrate și interpretate corect, prin analogie cu vulcanismul de pe Pămînt, ca fiind, de fapt, canalele lavelor inițiale ce au erodat puternic suprafața astrului în zonele respective.

Organizarea structurilor vulcanice pe Lună, precum și întinderea apreciabilă a scurgerilor de lave admit o mare analogie cu erupțiile bazaltice care au existat cîndva pe Pămînt; studiul rocilor aduse de membrii misiunilor „Apollo” din zonele vizate avea să confirme natura bazaltică a rocilor respec-

tive, deci și natura bazaltică a vulcanismului mărilor lunare. Într-o lucrare relativ recentă\*, fizicianul și selenologul american S. R. Taylor evidențiază existența a cinci tipuri de bazalturi: cu olivină, cu cuarț normativ, bogate în titan, sărace în titan și aluminate. Aceste bazalturi comportă un număr relativ ridicat de faze majore, dintre care același specialist menționa: plagioclaz, clinopiroxen, olivin, ilmenit. Mineralogia aferentă fazelor minore este și mai variată, cuprinzînd mult mai multe faze decît se cunoaște pentru cele terestre; totodată, relativa lor simplitate mineralogică relevă atît lipsa apei, cît și a altor fenomene de alterare (de ex. oxidare). Bazalturile lunare prezintă similitudini ca textură cu omoloagele lor terestre. Totuși, din punct de vedere chimic, diferențele sînt semnificative; astfel, bazalturile lunare s-au format în condiții mult mai reducătoare decît cele terestre, fiind deficitare în săruri volatile (cum ar fi compușii cu sodiu și potasiu). În schimb, alta este proporția în cazul prezenței pămînturilor rare (și a componentei acestora): în timp ce în bazalturile lunare aceste elemente sînt uniform îmbogățite (cu excepția europiului), în bazalturile terestre, ca și în cazul unor anumiți meteoriți (*hondritii*), pămînturile rare sînt foarte fracționate și răspîndite. O altă deosebire între cele două tipuri de bazalturi se referă și la viscozitatea mult mai redusă a celor selenare, despre care „vorbește” largă extindere laterală a scurgerilor de lavă pe Lună. Vîrsta acestor bazalturi, determinată prin diferite metode de datare radioactivă (metoda rubidiu-stronțiu, metoda argon-39—argon-40), a fost localizată la 3,2—3,8

\* Lunar Science — A post-Apollo View, Pergamon Press, 1975.



miliarde de ani; pornind de la datarea craterelor de impact, a fost determinat și un vulcanism rezidual „întirziat”, care s-ar fi putut să atingă și vârsta relativ „tinăre” de 2,5 miliarde de ani, așa cum susține în 1976 J. W. Head\*.

Majoritatea mărilor situându-se în centrul bazinelor selenare, din datarea acestora ar rezulta, implicit, vârsta mărilor respective; în realitate acestea din urmă sînt mai „tinere”, iar acest fapt a fost pus în evidență de densitatea materialului din craterele de impact, respectiv a materialelor azvîrlite din acestea, cu mult superioară densității materialului din care sînt constituite mările. Potrivit determinărilor radiometrice, vârsta mărilor pare superioară cifrei de 3,9 miliarde de ani... După cum se va vedea ulterior, prezentarea acestor date, la prima vedere fără legătură cu subiectul lucrării, va fi foarte utilă cînd cititorul va fi introdus în disputa privind ipotezele asupra originii tectitelor.

Nici continentele lunare nu sînt excluse de la aceste studii; astfel, rocile componente ale continentelor lunare sînt formate în principal din substanță anortozitică, respectiv sînt bogate în aluminiu și calciu; ca urmare, rocile bazaltice ale mărilor, bogate în fier și magneziu, nu pot în nici un caz să derive din roca crustei continentale selenare. Potrivit opiniei savantului Taylor, citat anterior, experimentele de fuziune par să indice că sursa acestor bazalturi s-ar găsi la cca 300 km sub scoarța selenară.

Se știe că pe Lună au fost instalate — de echipajele „Apollo” — mai multe seismometre (pasive și active). Datele obținute de la aceste aparate, ca urmare a mișcărilor seismice naturale (produse spre

ex. de impactul cu meteoritul prăbușit în 1972 pe Lună) sau artificiale (provocate prin căderea comandată a unor părți din modulul lunar), au demonstrat însă că crusta anortozitică are grosimea de numai 60 km; ca urmare, zona de unde pot să apară respectivele bazalturi este cuprinsă între adîncimile de 60 km și 300 km. (Pe fața invizibilă de pe Pămînt a Lunii grosimea crustei este ceva mai redusă, ceea ce ar putea fi o consecință, fie a diferențelor în gradul de topire internă proprie celor două zone, fie a faptului că Luna ar fi avut inițial o orbită mai aproape de Pămînt.) În orice caz, studiul undelor seismice de tip „P” (unde de comprimare) a sugerat că primii 20 km din crusta selenară de sub mări par a fi formați exclusiv din bazalturi; în 1974, s-a stabilit că datele obținute de la descifrarea propagării acestor unde „P” atestă că, la adîncimi între 60 și 600 km, ar exista un material bogat în piroxină, iar acesta pare a fi sursa bazalturilor din mările lunare!

Și acum cîteva cuvinte despre vulcanismul continentelor: deși datele atestă că acestea nu ar fi lăsat deloc urme, unele roci continentale de tip bazalt-Kreep prezintă o textură similară rocilor vulcanice. Totuși, bombardamentul meteoritic intens la care au fost supuse zonele continentale pînă la atingerea vârstei de 3,9 miliarde de ani ar fi putut juca un rol determinant în distrugerea eventualelor structuri vulcanice, ca și în cazul genezei și evoluției rocilor continentale.

Începînd din 1970, la Houston au loc, la intervale aproape regulate, conferințele internaționale pentru problemele Lunii.

În anul 1979 a fost mult discutată o particularitate a satelitului natural al Pămîntului, și anume faptul că centrul de greutate nu coincide cu cen-

\* Revista de fizică și geofizică spațială nr. 14, 265, 1976.

trul corpului geometric respectiv, fiind deplasat cu 2—3 km în direcția Pământului. În acest sens, s-au emis mai multe ipoteze. Una dintre ele susține faptul că nu întâmplător mările selenare sînt concentrate pe acea parte a Lunii ce se vede permanent de pe Pământ, cauza amplasării acestora trebuind să fie pusă în legătură cu forța de atracție a Pământului care, în centrul masic selenar, ar trebui să-și facă echilibru cu forțele inerțiale centrifuge.

Alta este repartitia acestor cîmpuri de forțe în zonele îndreptate ori nu spre Pământ: pe partea suprafeței selenare vizibile ar predomina forțele de atracție, în timp ce pe partea opusă — forțele inerțiale centrifuge. De aici s-a admis că rezultanta acestor cîmpuri de forțe ar fi determinantă în cazul mareelor, ceea ce provoacă o slabă asimetrie a accelerațiilor mareice, ea însăși *astăzi* slabă. Specialiștii susțin — iar aceasta reprezintă noutatea problemei — că *altădată* situația se prezenta cu totul altfel: mai precis, dacă Luna s-ar fi aflat în prima parte a existenței sale mult mai aproape de Pământ, *deci s-ar fi format prin smulgere din masa inițială a Pământului*, evoluind pe o orbită circulară la distanță de cîteva zeci de ori mai mică decît cea actuală, diferența accelerațiilor ar fi fost de zece mii de ori mai mare! Ca urmare, afirmă susținătorii acestor teorii, după cca 1 miliard de ani de la apariția Lunii, datorită acțiunii frecărilor mareice intense și a căldurii provocate de dezintegrarea elementelor radioactive, bazalturile din mantaua selenară s-au topit și s-au infiltrat spre suprafață, folosind zonele prielnice, respectiv fața îndreptată către Pământ și, în special, fundurile marilor bazine (imense pîlîii produse de impactul cu asteroizi sau meteoriți gigantici). În lumina acestei

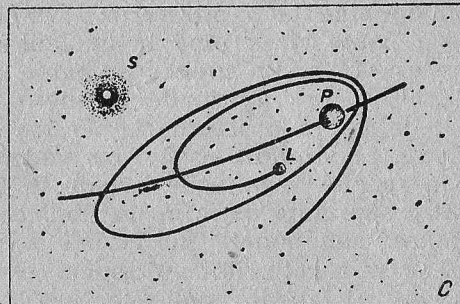
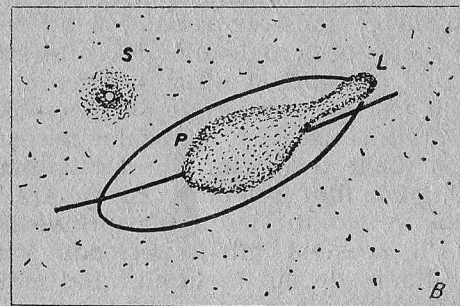
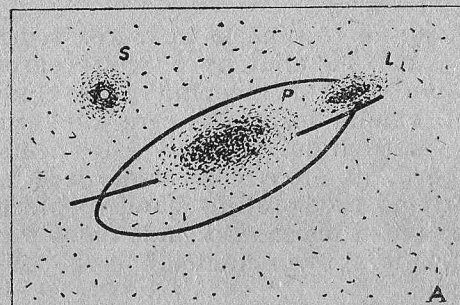


Fig. 7. Ilustrarea celor 3 teorii principale privind formarea Lunii:  
A — teoria formării concomitente din materia norului primar;  
B — teoria desprinderii Pământului primar din materia în rotație rapidă; C — teoria „captării” Lunii de către Pământ.



ipoteze, ar urma că pînă la încetarea scurgerii bazalturilor Luna s-a aflat pe o orbită apropiată de Pămînt, abia ulterior începînd să se îndepărteze de Pămînt; bineînțeles, cauza care a determinat începerea evenimentului respectiv este încă sub semnul întrebării. În orice caz, chiar dacă asimetria actuală privind accelerațiile mareice este neînsemnată, ea ar putea însemna o sursă deloc de neglijat pentru stabilirea evenimentelor care au marcat istoria Lunii.

Intrucît s-a pus problema istoriei satelitului natural al planetei noastre, trebuie să ne referim la cele șase etape principale din dezvoltarea acestui astru, atît de cercetat în ultimul deceniu; aceasta, așa cum au fost ele prezentate de specialiștii americani, în urma sintetizării analizelor de eșantioane de material lunar și a celorlalte date procurate de ansamblul misiunilor selenare, cu și fără echipaj. Prima etapă în evoluția Lunii ar cuprinde începuturile formării acesteia într-o perioadă situată cu 4,6—4,4 miliarde de ani în urmă, cînd materia lunară se prezenta sub forma unei mase topite sau parțial lichide pînă la o profunzime de cel puțin 250 km, sau poate chiar pînă la nucleul astrului. Energia necesară acestui proces ar putea proveni, conform ipotezei lui Taylor, de la energia gravitațională degajată în procesul de acreție aferentă formării Lunii. La sfîrșitul acestei perioade, magma fierbinte, în special bazalturile bogate în feldspat, a urcat către suprafața astrului, în timp ce straturile interioare, mai bogate în olivină și piroxen, vor deveni sursa bazalturilor vulcanice.

Procesul de cristalizare sau integrare a crustei constituie începutul etapei a doua, radiodatăta între 4,4 și 4,1 miliarde de ani. În această perioadă, suprafața lunară a înregistrat majoritatea impactelor

(cu asteroizii și meteoriții de dimensiuni apreciabile), capabile să dea naștere bazinelor, craterelor, circurilor selenare de dimensiuni relativ mici (sub 100 km în diametru). Prin analogie, s-a apreciat (Frey ș.a.) că etapa respectivă ar fi putut exista și în perioada inițială de formare a Pămîntului, urmele fiind atenuate și chiar șterse parțial datorită transformărilor geologice ulterioare. A urmat perioada formării marilor circuri și bazine circulare, cu diametre de sute de kilometri, consecință a prăbușirii pe solul selenar încă moale a unor asteroizi sau a unor imenși meteoriți. Această perioadă se radiotează între 4,1 și 3,8 miliarde de ani. Căldura internă, degajată datorită fenomenelor de dezintegrare radioactivă, asigură topirea magmelor bazaltice, care ajung cu ușurință la suprafața astrului folosind rețeaua de fracturi crustale, provocate de impactele menționate, umplînd totodată bazinele și celelalte depresiuni existente. Marea varietate de bazalturi existente în mările selenare atestă tocmai faptul că au provenit de la adîncimi diferite. Un exemplu în acest sens: bazalturile bogate în aluminiu provin de la zona de adîncime redusă sub scoarță, acolo unde magma inițială, mai ușoară, a ajuns mai rapid decît celelalte componente.

Ulterior, în etapa a patra, radiodatăta între 3,8 și 3,7 miliarde de ani, s-au format așa-numitele „cîmpii” sau zone continentale, care de pe Pămînt se văd ca un fel de întinderi colorate în auriu deschis. Una dintre cele mai interesante etape, cea de a cincea (între 3,7 și 3,1 miliarde de ani), coincide cu formarea mărilor lunare — regiuni de culoare închisă, a căror nivelare s-a datorat lavelor bazaltice ale erupțiilor vulcanice deosebit de puternice, majoritatea aflîndu-se pe partea vizibilă de pe Pămînt. La sfîrșitul acestei etape, „mașina ter-

mică selenară" a pierdut majoritatea eficacității sale, menținându-se la nivelul unui vulcanism rezidual (terminat și el, se pare, acum 2,5 miliarde de ani!). În orice caz, studiul vulcanismului selenar, în afara faptului că a adus numeroase precizări asupra evoluției termice și chimice a satelitului natural al Pământului, a permis continuarea și dezvoltarea studiilor de planetologie comparată, făcând

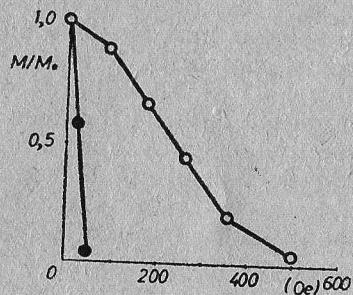


Fig. 8. Experițe privind magnetismul rocilor selenare (breccia — cercuri pline; rocile cristaline — cercuri albe), ce evidențiază stabilitatea mai slabă a primelor, ultimele derivând din perioada de solidificare a Lunii:  $M/M_0$  — intensitatea de magnetizare relativă; în abscisă: intensitatea cimpului magnetic.

mului selenar ajută la descifrarea unor procese evolutive (în trecut) pe Pământ.

Cercetătorii departamentului pentru cercetări selenare și planetare al N.A.S.A. de la Houston (condus de Michael Duke) au stabilit că, la puțină vreme după formarea astrului, straturile între 100—200 km s-au topit brusc, apoi s-au cristalizat, materialele mai ușoare formând crusta actuală, iar materialele mai grele coborînd (și urcînd doar prin fenomene vulcanice). Folosind o metodă similară, specialiștii de la Oxford Isotope Geology Laboratory au putut afla „vîrsta” crustei din Groenlanda, apreciată, cu cei 3,98 miliarde de ani, ca cea mai bătrînă de pe globul terestru, depășind apreciabil vîrsta celor mai vechi gneissuri granitice din zona Minnesota (3,55 miliarde de ani!). Se apreciază existența unei cruste granitice, din acea vreme, care ar fi acoperit planeta cînd magma originală a început să se diferențieze...

din Lună „o fereastră deschisă spre trecutul îndepărtat al planetei noastre” [1]. Stabilirea aspectelor vulcanismului selenar, în lumina teoriilor moderne, este necesară pentru a înțelege modul cum ipoteza cea mai plauzibilă actualmente privind originea tectitelor este sau nu încadrată în teoria modernă asupra originii și evoluției Lunii. În plus, cercetările combinate asupra tectonicii și vulcanis-



#### 4. IPOTEZE PRIVIND ORIGINEA TECTITELOR

Primele specimene de tectite au fost recoltate în anul 1787 (moldavite din Cehoslovacia), dar abia în 1897 s-a emis ipoteza originii cosmice a acestora. În anul 1834 au fost descoperite tectite în partea de sud a Australiei și în insulele alăturate (Tasmania), iar în 1836 — în insula Belitung. Recunoașterea existenței altor regiuni cu depozite de tectite aparține începutului actualului secol. Dacă regiunea sudică a Australiei constituie cel mai mare „rezervor” de tectite (la care se adaugă și insulele apropiate), moldavitele acoperă mai multe sute de kilometri pătrați, iar rezervele din Texas se întind numai pe circa 270 km<sup>2</sup>. Foarte târziu au fost descoperite tectite în Uniunea Sovietică, iar despre asemenea corpuri curioase nu se găsesc urme în America de Sud și în Canada... Dacă în unele regiuni depozitele de tectite se află la suprafață, în majoritatea ele se găsesc încorporate în argile, la câțiva centimetri sub suprafața scoarței. Zonele pe care au fost găsite tectite pînă în prezent ocupă cca 5% din regiunile scoarței solide a Terrei. Compoziția chimică a tectitelor este similară cu cea a sticlei, dar indicele lor de refracție (1,5) este inferior celui al cuarțului (cca 1,6) și al silixului, care

depășește această valoare. Principalul constituent chimic al tuturor tectitelor este SiO<sub>2</sub> (cca 75%), urmează Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13%), oxizii de fier, de calciu, de magneziu, de potasiu, de sodiu, de titan, apă etc. Atunci cînd se încearcă a se compara compoziția tectitelor cu cea a rocilor terestre, constatările nu sînt unanime, apărînd asemănări fie cu obsidianul, fie cu roca sedimentară. De fapt, aceasta a condus și la ideea originii extraterestre a acestor „pietre cerești”!

Dacă inițial s-a admis că aceste tectite ar putea proveni din Lună, cel mai apropiat corp ceresc de Pămînt, adversarii acestei ipoteze s-au sprijinit pe faptul că zonele adăpostind tectite aveau întinderi relativ reduse, admițînd că originea misterioaselor „sticloase extraterestre” ar fi în... comete! Dar natura precisă a cometelor este încă în discuție, nucleul solid al cometelor are încă adversari, iar întîlnirile „sigure” cu o cometă se succed, se pare, la cca 100 de milioane de ani! Iar în ultimii 50 de milioane de ani au fost cca opt asemenea depozite de tectite pe Terra; cel puțin această este concluzia analizelor de datare cu mijloace moderne... Iată însă că o ipoteză ceva mai veche ar putea oferi mai multe posibilități: cometele, la rîndul lor, s-ar fi putut forma dintr-o multitudine de meteoriți foarte mici și foarte depărtați, ocupînd volume în spațiu care depășesc chiar pe cel al Terrei (!), sau, mai mult, chiar pe cel al Soarelui (!!). Dacă se admite această ipoteză, atunci există o posibilitate aproape certă ca Terra să se întîlnească cu o *parte dintr-o cometă*, cel puțin o dată la cîteva milioane de ani. Acum apar două situații semnificative: dacă particulele cometare întîlnesc acea emisferă a Pămîntului care se deplasează în sensul întîlnirii particulelor respective, atunci acestea se comportă

ca niște meteoriți, existind foarte puține șanse ca ele să atingă scoarța terestră. Dacă, însă, se analizează mișcarea acelor particule cometare care „se scurg” în jurul Terrei, atunci atracția gravitațională a planetei le va concentra în fascicule mult mai dense decât materia din cometa propriu-zisă. Aceste fascicule, formînd un fel de curent spațial ale cărui deplasări transversale sînt frinate de ciocniri și produc căldură, sînt deviate de gravitația terestră și pot cădea ca un fel de jet vertical pe scoarța planetei!

Căldura astfel dezvoltată ar putea ridica temperatura curentului de particule cometare în cădere spre Terra la peste 1000°C, fiind suficientă pentru a topi materialele refractare și a le volatiliza pe cele mai volatile... În acest fel, curentul de materie în stare topită poate cădea spre scoarța terestră, cît timp *planeta traversează spațiul ocupat de cometă!* În timp ce partea interioară a materiei cometare „cade” în atmosfera înaltă a Terrei fiindu-i necesare cîteva minute, masa de tectite astfel formate se răcește... Procesul de răcire a curentului de particule îndreptîndu-se spre suprafața planetei implică mai întîi lichefierea materialelor refractare, astfel încît constituenții originari ai cometei se pot diferenția unii de ceilalți. Întrucît orice curent descendent se accelerează sub influența forței de atracție, tensiunile superficiale pot produce chiar și picături, un fel de tectite în proces de formare, fie în interiorul fie în exteriorul atmosferei planete. Picăturile astfel formate pot întruni unele din cerințele formării tectitelor, în special particularitatea existenței unor micromase solide, încastate în materia generală a tectitei respective. În măsura în care timpul de cădere este suficient de lung,

— ceea ce se întîmplă atunci cînd se ating viteze de cădere relativ reduse —, picăturile ar putea dispune de timp suficient pentru a se solidifica înainte de a atinge suprafața terestră, mai precis de a intra în atmosfera planetei, atmosferă care provoacă, din punctul de vedere al forțelor aerodinamice, o mare varietate de forme posibile pentru tectite. În ce privește zonele posibile pentru impact, acestea depind de direcțiile mișcării cometelor și ale Terrei, iar orice parte a planetei este accesibilă. De remarcat, că ariile cunoscute azi de răspîndire a tectitelor, se află în limitele  $\pm 40^\circ$  latitudine (cu excepția moldavitelor din Europa, care ating latitudinea de  $50^\circ$ ).

Deși, teoretic, curentul de tectite în formare cade urmînd o linie dreaptă, există mai mulți factori care au tendința de a obliga aceste particule să acopere zone aproximativ circulare. În primul rînd chiar procesul de creștere a densității curentului este neregulat, putînd fi prezentat simulat ca un fel de lîntînă inversă care ar „împrăstia” tectite către exterior. Se adaugă forțele de presiune aerodinamică, care pot depăși chiar cu mult forțele de greutate și care împrăstie mult tectitele, provocînd abateri de ordinul sutelor de kilometri în timpul traversării atmosferei. Al treilea factor de care trebuie să se țină seama este reprezentat de rotația planetei în timpul traversării spațiului cometar, respectiv spațiul parcurs în timp ce fenomenul însuși se produce. La ecuator, acest factor poate provoca deplasări ale zonei unde ar fi trebuit să „cadă” curentul de tectite, cu viteze relative de pînă la 1600 km/oră, de la est spre vest. Să nu se uite că, în perioadele cînd s-au format cele mai vechi depozite de tectite, se presupune că axa planetei noastre nu coincidea cu poziția ei actuală în



raport cu suprafața planetei. Zona ocupată de tectitele australite, care se pare că ar fi unul dintre cele mai recente bazine, este vizibil delimitată către nord de o linie orientată de la est către vest, iar dimensiunile tectitelor variază în raport și cu longitudinea: cele care se găsesc în regiunile estice fiind sistematic mai mici decât cele care se află în zonele vestice!

Desigur, aici apar și opinii care infirmă originea cometară a tectitelor sau, mai general, originea lor într-un fel de nor inițial de materie, care să fi fost cândva străbătut de planeta noastră. Astfel, după ce a consultat o hartă cu zonele de răspândire a tectitelor, prof. dr. Harold C. Urey, laureat al Premiului Nobel pentru chimie, cunoscut om de știință american de la Universitatea din San Diego, a afirmat că dispunerea locurilor de împărștiere a acestor neobișnuite obiecte sticloase îl determină să aprecieze că proveniența lor nu poate fi decât din spațiul foarte apropiat de Pământ, în special din regiunea satelitului natural al Terrei. Profesorul Urey avea aici în vedere acea ipoteză menționată anterior, și anume ipoteza norului de materie cometară care, după ce a călătorit timpuri aproape imemorabile prin cosmos, a fost în final „acaparată” de planeta noastră (mai întâi, de câmpul gravitațional solar). Profesorul Urey aprecia că asemenea întâlniri cu norul de materie primordială pentru formarea tectitelor ar fi trebuit neapărat să conducă la acoperirea unor regiuni mult mai întinse din emisferele terestre, cu fragmentele componente... Cît privește „lungul drum prin cosmos” al norului cometar, simpla analiză din punctul de vedere al expunerii la acțiunea radiației cosmice primare a tectitelor a evidențiat lipsa unor semne distinctive în acest sens, respectiv nu s-au

găsit urme ale izotopilor neon-21, aluminiu-26, beriliu-10. Absența acestor elemente radioactive constituie elementul de bază pentru renunțarea la ipoteza originii cometare a tectitelor, astfel încît rămîn sigur în discuție ipotezele care pornesc de la ideea că Terra ori Selena sînt „leagănul” tectitelor, aspectele aerodinamice urmînd a decide, în final, între sursele care pot sta la baza declanșării procesului de formare a tectitelor. Aici, avînd în vedere acțiunile care au fost suferite de majoritatea tectitelor analizate, și anume temperaturi ridicate, forțe aerodinamice deosebite, vid cosmic, presiunea radiației solare etc., se pare că doar fenomene vulcanice ori impactele meteoritice ar putea explica fenomenul. Ca urmare, există patru posibilități: vulcanismul lunar ori cel terestru, impactul meteoritic asupra solului lunar ori terestru. Să le analizăm.

Deși ipoteza *vulcanismului terestru* nu este una dintre ipotezele care să fi întîlnit vreodată prea multe adeziuni, o vom analiza prima, mai ales că există două argumente împotriva ei foarte bine conturate. Mai întîi, analiza chimică a compoziției tectitelor a demonstrat evidente deosebiri ale acestora față de rocile sticloase proprii vulcanilor terestri. Conținutul în siliciu pentru o tectită tipică este de 68%, ceea ce, în cazul rocilor vulcanice terestre, ar corespunde granitului. Desigur, există roci sticloase granitice terestre cu asemenea conținut de siliciu, dar ele posedă, în proporții aproape egale, trei minerale: cuarț ( $\text{SiO}_2$ ), feldspat sodic ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) și feldspat potasic ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), iar restul de aproape 20% constă din alte minerale. Motivația este deci foarte clară: compoziția evidențiază un amestec ternar de silicați, capabili să cristalizeze la temperaturi joase.

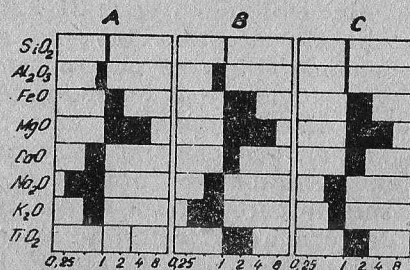


Fig. 9. Similaritatea chimică dintre rocile terestre sedimentare (A), tectitele irighizate (B) și mostrele de rocă selectate aduse de echipajul „Apollo”-14 (C); în abscisă: proporțiile față de roca granitică terestră standard.

Atunci când o anumită magmă bazaltică se răcește, fiecare din minerale va cristaliza spre exterior, la temperatura și compoziția respectivă, până când topitura îmbogățește acest amestec eutectic. Acum faza lichidă are compoziția unui granit; dacă faza lichidă a reușit, într-un anumit fel, să se separe de cristale, ea poate pătrunde relativ lent spre exterior și să se răcească treptat spre a forma o rocă cristalină (granit), sau poate erupe și să se răcească instantaneu spre a forma un fel de sticlă granitică (cum ar fi roca denumită obsidian). Ca un exemplu, granitul standard, denumit G-1, are compoziția mineralogică: 29% cuarț, 32% feldspat sodic și 28% feldspat potasic (și 11% alte minerale). Nu același lucru se poate afirma despre tectite, pentru care proporțiile mineralelor corespunzătoare sînt: 40% cuarț, 13% feldspat sodic, 15% feldspat potasic și 32% alte minerale. Cu alte cuvinte, în comparație cu rocile terestre cu un conținut similar de siliciu, tectitele conțin în proporție

mai mare oxizi bivalenți (CaO, MgO, FeO) și în proporție mai mică oxizi monovalenți (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O).

Un alt argument împotriva aceleiași ipoteze este faptul că, potrivit calculului, erupțiile vulcanice, chiar cele dintr-o eră cînd Pămîntul era foarte frămîntat, nu ar fi putut determina înscrierea pe o orbită circumterestră a unor fragmente de roci sau proiectarea lor în spațiul cosmic. Admițînd că tectitele au fost lansate cu ocazia unor erupții vulcanice, fiind propulsate odată cu gazele fierbinți și vaporii supraîncălziți de lava incandescentă, trebuie să reamintim că la o temperatură aproape „clasică” de 1200°C a lavei, viteza de propagare a sunetului în acești vaporii supraîncălziți este numai de 1000 m/s; or, teoria clasică a scurgerii gazelor la viteze mari demonstrează că viteza maximă de părăsire a unei incinte de către un fluid sub presiune este cel mult dublul vitezei sunetului în acel mediu, ceea ce revine pentru vaporii supraîncălziți („suportul” de lansare admis — în această ipoteză — al fragmentelor propulsate de erupția vulcanică) la aproximativ 2 km/s. Această valoare este cu mult sub necesarul asigurării „zborului cosmic” al tectitelor, dintre care multe au suferit procese termochimice aferente încălzirilor cinetice proprii unor viteze hipersonice (de peste 5 ori viteza sunetului!). Acestea rezultă din următoarele calcule simple:

A. În cazul erupției vulcanice cu aruncarea lavei și a rocilor prin jeturi de vaporii de apă (abur supraîncălzit), viteza critică la ieșirea din crater a fluidului este dată de relația  $a_c = (\gamma_0 R g T_0)^{1/2}$ , în care  $\gamma_0$  este raportul căldurilor specifice în cazul vaporilor (cu valoarea 1,454, calculată de Langen),  $R$  constanta gazelor perfecte (pentru vaporii de apă are valoarea 462 J/kg · K),  $g_0$  accelerația gravitației (9,81 m/s<sup>2</sup>),



iar  $T$  temperatura absolută a vaporilor (1473 K). Ca urmare,  $a_v = 995$  m/s.

B. De aici se poate ușor calcula viteza maximă cu care pot fi aruncate, *odată cu erupția*, respectivele pietre, roci etc. de vulcanul terestru; din expresia termodinamică a entalpiei  $\frac{V^2}{2} + i = i_0$ , în care  $i$  este entalpia pentru temperatura  $T$  a procesului dinamic ( $i_0$  fiind entalpia la momentul inițial al fenomenului), dată de relația  $i = a_v^2/(\gamma - 1) = RgT/(\gamma - 1)$ , prin calcule matematice relativ simple rezultă expresia vitezei:

$$V_{\max} = (2i_0)^{1/2} = [2\gamma/(\gamma - 1)]^{1/2} (RgT)^{1/2}.$$

În cazul vaporilor supraîncălziți, deci pentru valorile numerice de mai sus, se ajunge la:

$$V_{\max} = 2,09a_v \approx 2000 \text{ m/s}$$

S-au efectuat o serie de măsurători ale vitezei cu care sînt azvirlite gazele fierbinți din conul vulcanului, iar valoarea medie obținută nu a depășit 700 m/s, în timp ce din măsurătorile geometrice asupra vîrfurilor tectitelor de tip australite au rezultat unghiuri care demonstrează, conform aerodinamicii supersonice, viteze de pătrundere în atmosfera densă de peste 6000 m/s! Deci, pe lângă o compoziție total diferită de cea a rocilor vulcanice, se adaugă o „viteză inițială de lansare” total insuficientă. Acestea sînt argumentele principale și, în același timp, decisive pentru abandonarea ipotezei că vulcanismul terestru ar putea sta la baza formării tectitelor.

Potrivit mai multor opinii, din celelalte trei ipoteze, cea a *provenienței tectitelor din roca scoarței selenare*, „împroșcată” în spațiu ca urmare a impac-

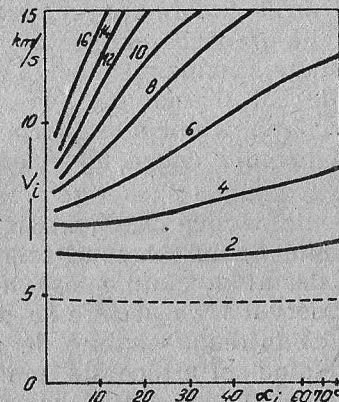


Fig. 10. În funcție de viteza de intrare a tectitelor în atmosfera terestră ( $V_i$ ) și de unghiul de incidență respectiv ( $\alpha_i$ ), stratul de la suprafața tectitelor a fost afectat prin fenomenul de ablație pe grosimi cuprinse între 2 și 16 mm; sub linia punctată, ablația este considerată neglijabilă (calculs efectuate de D. Chapman și H.K. Larson, [2]).

tului meteoriților (sau chiar al asteroizilor) a fost irevocabil respinsă abia după ce au fost colectate date de la stațiile spațiale automate care au aterizat lin pe satelitul natural al Pămîntului („Surveyor” și „Luna”) și au fost analizate rocile aduse de echipajele „Apollo”. În același sens au contribuit și informațiile de teledetecție a solului selenar, primite de la stațiile orbitale automate „Luna” și „Lunar Orbiter”. De atunci a rezultat clar că cea mai mare parte a scoarței selenare constă din diferite tipuri de roci bazaltice, care au un conținut de siliciu de cel mult 55%, în timp ce scoarța mărilor selenare conține bazalturi bogate în fier, iar

rocile din podișurile lunare conțin bazalturi bogate în feldspat; rocile granitice au fost descoperite (numai ca fragmente, incluzând unele sticloase) în unele bucăți de sol și, mai ales, în rocile de tip breccia (care conțin fragmente foarte diferite, cimentate la un loc din cauza unor fenomene deosebite).

De aici se poate deduce că, deși există mase granitice, ele se află numai în zone relativ restrânse sau sînt deja destul de puține, așa încît aproape nici nu sînt observate. Ca urmare se poate afirma, fără greșală, că întreaga materie de pe suprafața selenară, înțelegînd prin aceasta materialele superficiale și rocile, sînt de natură bazaltică și, deci, nu pot constitui „materia primă” a tectitelor...

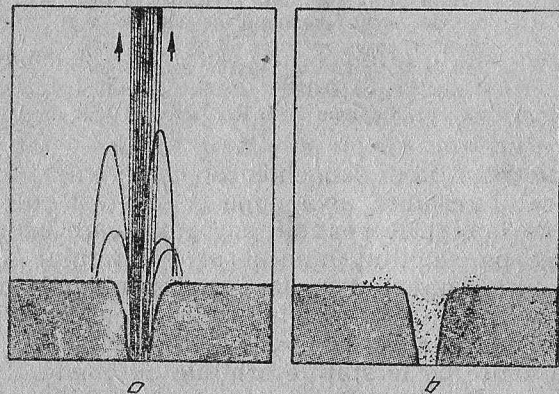


Fig. 11. Schema unei erupții vulcanice selenare capabilă să producă lansarea tectitelor spre Pămînt: o parte din materia lansată ajunge în spațiu (a), iar alta cade pe sol (b)), explicînd totodată și formarea cîrcurilor lunare.

Aceasta fiind situația, rezultă că ipoteza impactului cu meteoriți (asteroizi) al scoarței selenare și a ajungerii pe Pămînt a „fragmentelor” dizlocate și „împrăscate” trebuie și ea eliminată, în primul rînd pentru că asemenea fenomene sînt procese nediscriminatorii, în sensul că impactul se poate produce în orice punct al scoarței. Este adevărat că, față de o rocă bazaltică, o rocă granitică sticloasă are mai multe șanse să „supraviețuiască” șocului de la impact și temperaturilor ridicate de la traversarea cu viteze cosmice a atmosferei terestre (respectiv temperaturi de mii de grade) [16], dar diferențele nu pot fi atît de mari încît să fie interpretate prin natura silicioasă a tectitelor. De fapt, descoperirea de microtectite cu un conținut scăzut de siliciu explică și faptul că însuși materialele cu un conținut relativ redus de siliciu pot „scăpa” de pericolele sus-menționate, pe care le întîmpină tectitele la parcurgerea traseelor pînă ating scoarța terestră (în treacăt fie spus, nici aceste microtectite nu sînt chimic asemănătoare bazalturilor selenare!).

Dar nu numai tectitele „refuză” să fie similare bazalturilor lunare, ci chiar meteoriții diferă substanțial, deși uneori s-a susținut, destul de frecvent și chiar în domenii tangente cosmochimiei, că unii meteoriți găsiți pe Pămînt ar proveni din Lună, fiind „lansați” de impactul meteoritic.

Printre primii care au susținut, pe baza unei analize foarte minuțioase, că principalele tipuri de roci și materiale selenare studiate în ultimii zece ani sînt complet diferite de orice meteoriți existenți în colecțiile terestre a fost dr. Edward Anders, profesor la Universitatea din Chicago (S.U.A.). Anders și colaboratorii săi au subliniat (și aceasta a fost dedusă prin calcule, ca rezultat al unui model ma-



fematic al impactului) că nici un impact meteoritic asupra vreunui corp din sistemul solar nu poate lansa materie din acest corp cu o viteză mai mare de 2,5 km/s, care corespunde vitezei de eliberare din câmpul gravitațional selenar! Această valoare a fost numită de atunci „limita Anders” și a constituit un fel de piatră de încercare pentru teoriile meteoritice lansate după terminarea programului Apollo. Aceasta înseamnă că: 1) meteoriții nu pot proveni din planetele Marte ori Mercur; 2) meteoriții nu pot fi lansați direct de pe un asteroid (din centura de asteroizi dintre Marte și Jupiter) către Pământ, deși valoarea celei de a doua viteze cosmice pentru un asteroid este nesemnificativă (modificarea vitezei, cerută pentru a plasa materialul provenit din asteroid pe o traiectorie intersectând orbita terestră, fiind de aproape 5 km/s). Ca urmare, limita „Anders” este argumentul final împotriva ipotezei că meteoriții ar putea lansa, prin impact asupra scoarței selenare, materialul din care provin tectitele.

Fără îndoială, aceste calcule la care se referă limita Anders pot fi extinse și în cazul Pământului (și aceasta chiar cu atât mai evident!) deoarece, chiar dacă se neglijează rezistența atmosferei, sînt necesare viteze de la 4 și pînă la 6 km/s!

Astfel, eliminarea ambelor ipoteze care porneau de la teoria impactului apare destul de surprinzătoare, avînd în vedere, bineînțeles, faptul că încă din anii '60 majoritatea cercetătorilor erau convinși că tectitele provin prin impactul meteoriților fie asupra suprafeței lunare, fie asupra suprafeței terestre [2], [3], [15]. Se pare că, la abandonarea definitivă a acestei concepții profund înrădăcinată, a contribuit o descoperire neobișnuită a specialiștilor americani de la U.S. Geological Survey (De-

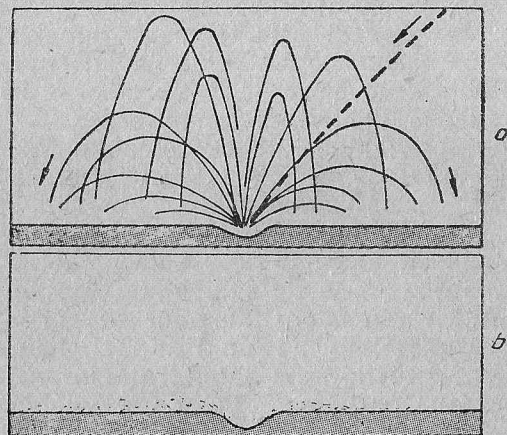


Fig. 12. Schema fenomenelor de impact meteoritic pe Lună: materia aruncată în toate direcțiile (a) are o răspindire mai largă, cu pante mult mai line decît în cazul vulcanismului (b).

partamentul american al cercetărilor geologice). Este vorba de găsirea în anumite tectite a unor sferule compuse din nichel și fier! Or, acest compus din nichel și fier reprezintă caracteristica principală a meteoriților, iar asemenea grăunțe sferoidale (sferule) au fost descoperite în așa-numitele „detectite” găsite în zonele de cădere a meteoriților pe Pământ. În adevăr, acești compuși sferoidali atestă că nu poate fi vorba de vulcanism terestru, fierul neoxidat fiind foarte rar în rocile cuprinse în lava solidificată; deoarece în mostrele aduse de pe scoarța lunară asemenea sferule sînt relativ rare, este greu de argumentat pozitiv chiar și impactul meteoriților asupra scoarței selenare ca sursă a tectitelor.

De fapt, conținutul scăzut de nichel este extrem de greu de explicat prin ipoteza originii terestre a tectitelor și din alt motiv particular: așa cum a arătat Robin Brett de la același organism de cercetare geologică, conținutul relativ scăzut de fier în sferulele materialului sticlos, colectate în locurile de pe Pământ unde au avut loc impacturi cu meteoriți de dimensiuni apreciabile și apreciat ca fiind datorat fenomenului de oxidare, apare de regulă în sferulele cu conținut ridicat de nichel. Pornind de la mostrele aduse de echipajele Apollo, a ieșit în evidență că, în majoritatea cazurilor, conținutul foarte scăzut (relativ vorbind) de nichel în sferule este specific rocilor din interiorul Lunii, ceea ce pledează încă o dată pentru *teoria vulcanismului lunar ca originea cea mai plauzibilă a tectitelor*.

Trebuie aici să subliniem părerea specialistului american J. A. O'Keefe [8] referitoare la câteva aspecte deosebit de atrăgătoare ale teoriei care susține originea vulcanic-selenară a tectitelor. Reamintim că valoarea vitezei de „lansare” a rocilor din vulcanii terestri, dealtfel argument care combate puternic și ipotezele impactului meteoritic pe Lună și Pământ (așa cum susține și O'Keefe), constituie argumentul chemat să pledeze primul pentru ipoteza originii vulcanic-selenare. Roca lunară este atât de „avidă” de oxigen (atât de reducătoare), încât specialistul american emite ideea că s-ar fi putut ca rocile vulcanice lunare să fie „propulsate” mai repede prin jeturi de ... hidrogen (care s-a acumulat în interiorul vulcanilor respectivi) decît de vapori supraîncălziți. Mai mult încă, dacă se face raportul de stabilitate al hidrogenului în comparație cu vaporii în contact cu bazalturile selenare (sau materialul sticlos al tectitelor) încălzite la 1200°C, valoarea este 4 : 2 în favoarea hi-

drogenului... Iar viteza sunetului în acest amestec de gaze este de aproximativ 3 km/s, ceea ce trebuie corelat cu faptul că la „lansările” din vulcanii alimentați cu energie folosind ca fluid primar hidrogenul sînt posibile viteze de ejecție de pînă la ... 6 km/s! Întrucît viteza de ieșire din zona de atracție selenară este de ordinul a 2,5 km/s, asemenea vulcani „propulsați” cu vapori de hidrogen ar putea fi capabili să asigure din punct de vedere energetic „lansările” de tectite.

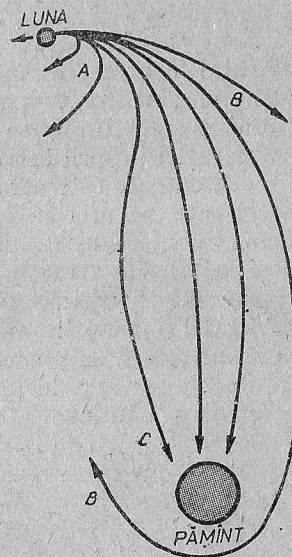


Fig. 13. Schema traseelor cosmice ale tectitelor de proveniență selenară, conform ipotezei vulcanismului lunar; A — traseu circumselenar; B — traseu circumsolar; C — traseu Lună-Pământ.

Înainte de a continua cu analiza ipotezelor (mai mult sau mai puțin plauzibile) apreciem necesară amintirea calculului de principiu pentru stabilirea vitezei de „scăpare” pentru Pământ și pentru sateli-



tul natural al planetei noastre; în acest scop, pornim de la expresia accelerației  $g$  cu care este atras de astrul central de rază  $r_a$  un satelit de masă  $m_s$ , aflat în mișcare uniform circulară cu viteza  $v_{sc}$ , pe o orbită a cărei rază se admite ca avînd tot valoarea

$r_a$ :  $g = \frac{v_{sc}^2}{r_a}$ . De aici rezultă imediat expresia vitezei

satelitului pe orbită circulară,  $v_{sc} = \sqrt{gr_a}$ , precum și valoarea acestei viteze dacă ne referim la un anumit astru central, respectiv dacă se calculează accelerația  $g$ . În acest scop să aplicăm legea atracției universale,

$F = k \frac{m_s m_a}{r_a^2}$ , pentru același satelit evoluînd în jurul

astrului central de masă  $m_a$ ; știind că forțele de atracție sînt forțe inertiiale supuse principiului acțiunii și reacțiunii, se poate deduce astfel expresia accelerației proprii astrului central, că și — respectiv — cea cu care este atras satelitul către acesta. Aceste accelerații se află în raport de proporționalitate inversă cu masa astrului și, respectiv, cu a satelitului, deși forțele de atracție sînt date. Cunoșcînd valoarea constantei atracției universale  $k$  ( $k = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$ ) și valorile razei și masei astrului la care ne vom referi, se pot calcula cu ușurință atît accelerațiile cît și vitezele pe orbită ale satelitului, astfel:

— pentru Pămînt:

$$g_P = k \cdot \frac{m_P}{r_P^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-8} \cdot 5,98 \cdot 10^{27}}{10^{15} \cdot 6378^2} = 9,81 \text{ m/s}^2,$$

$$v_{scP} = \sqrt{g_P r_P} = \sqrt{9,81 \cdot 6378 \cdot 10^3} = 7910 \text{ m/s},$$

— pentru Lună:

$$g_L = k \cdot \frac{m_L}{r_L^2} = 6,67 \cdot 10^{-8} \frac{5,98 \cdot 10^{27}}{10^{15} \cdot 81,45 \cdot 1738^2} = 1,61 \text{ m/s}^2,$$

$$v_{scL} = \sqrt{g_L \cdot r_L} = \sqrt{1,62 \cdot 1738 \cdot 10^3} = 1680 \text{ m/s}.$$

Depășirea continuă a acestor valori ale vitezei pe orbită are drept consecință modificarea orbitelor din circulare în orbite din ce în ce mai eliptice. Atingerea valorii  $2v_{sc}$  duce la transformarea orbitei din eliptică în parabolică. În acest caz, viteza este cunoscută sub denumirile de viteză parabolică sau *viteză de scăpare* din cîmpul de atracție al astrului central ( $v_{par} = \sqrt{2v_{sc}}$ ). Ca urmare, calcule similare celor de mai sus conduc la valorile următoare, pentru Pămînt și Lună:

— pentru Pămînt:  $v_{parP} = \sqrt{2} \cdot 7910 = 11190 \text{ m/s}$ ;

— pentru Lună:  $v_{parL} = \sqrt{2} \cdot 1680 = 2380 \text{ m/s}$ .

Intrucît calculele prezentate nu au luat în considerare neuniformitățile cîmpului de atracție selenar, respectiv terestru, precum și (cel puțin pentru Lună) corecția datorată influenței cîmpului de atracție al Soarelui, valoarea de  $2,5 \text{ km/s}$  a vitezei-limită este acoperitoare (chiar ținînd seama de orice abatere de la calcul, de exemplu și pentru faptul că se admit sateliți evoluînd la altitudinea zero deasupra astrului central considerat).

Revenind la ipoteza vulcanismului selenar, trebuie arătat că acesta a supraviețuit descoperirii că Luna are suprafața de tip rocă bazaltică, fapt care a eliminat din competiție teoria impactului meteoritic pe Lună, deoarece tectitele au compoziție tipică pe bază de siliciu. Mai mult, acest tip de vulcanism, numit „exploziv”, fapt cerut de o astfel de lansare a tectitelor capabile energetic să atingă Pămîntul, este asociat cu vulcanii de tip silicios. Dacă admitem că tectitele au fost lansate datorită vulcanismului lunar, este rezonabil să admitem că aceste corpuri sînt în mod predominant de natură silicioasă: ele sînt originare nu din scoarța sele-

nară, ci din magma granitică, undeva mult sub scoarța lunară, astfel ieșind în evidență încă o dată că, pentru asemenea stări magmatice, scoarța Lunară este totuși compusă integral din roci bazaltice.

Deoarece originea unor tectite ar trebui uneori căutată în impactul meteoriților mari, sau chiar al asteroizilor, asupra scoarței terestre acum multe miliarde (milioane ?!) de ani, analizându-se mai consistent limita Anders, este de prezentat opinia lui O'Keefe [8]. Acesta considera această ipoteză puțin plauzibilă datorită limitei Anders — din punctul de vedere al energiei — a vitezei maxime posibile la aruncarea gazelor și a altor jeturi fluide amestecate cu bucăți de rocă, după impactul menționat, a cărei valoare este mult mai mică decât viteza necesară pentru ca bucățile dislocate să devină „rătăcitoare” prin spațiu! Ca urmare, ar trebui — în aceste condiții — reținute două ipoteze posibile pentru originea tectitelor: vulcanismul selenar și impactul meteoriților asupra pământului. Pasul următor, în concepția lui O'Keefe, ar fi fost de a se evalua ambele concepții în lumina unor date recente foarte detaliate privind compoziția chimică a tectitelor. Partizanii acestei ipoteze afirmă că tectitele s-ar fi putut „naște” prin lovirea de către meteoriți a rocilor sedimentare, chiar metamorfice, deoarece, în acest fel, obiecțiunile susmenționate privind rocile sticloase vulcanice se aplică în general tuturor rocilor eruptive. Rocile sedimentare terestre și cele vulcanice selenare pot însă, ambele în aceeași măsură, să furnizeze elementele principale din compoziția chimică a tectitelor. Astfel, printre rocile terestre sedimentare, în general, cele de tip gresie și, în mod special, rocile numite „subgrauwacke” posedă cea mai mare asemănare,

mai ales deoarece anumite procese de formare și „sortare” au permis creșterea conținutului lor în cuarț. Cum acesta nu posedă un clivaj natural al planurilor de stratificare, este mai dur decât oricare alt mineral obișnuit și tinde să formeze o granulație mărită. Ca urmare, orice proces de formare care respectă dimensiunea particulelor va avea tendința să separe cuarțul de alte minerale. Conținutul ridicat de calcar, magneziu și oxid de fier, prin comparație cu sodiul și potasiul puși în evidență în tectite și care le deosebește de granitul sticlos, este remarcabil doar în rocile cu un conținut ridicat de siliciu. În cazul rocilor secundare sau bazice (bazalturi) conținutul ridicat de siliciu este aproape normal; de aici rezultă că a deduce compoziția din punctul de vedere al componentilor majori ai tectitelor revine la a aprecia conținutul de siliciu în raport cu al rocilor terestre, ceea ce este altceva decât în majoritatea rocilor bazice (bazalturi). Acesta este chiar cazul rocilor sedimentare!...

Mai mult decât orice, acest aspect este acela care i-a determinat pe geochimiști, am putea spune pe „cosmochimiști”, în perioada anilor '60, să sprijine originea terestră a tectitelor. Aceasta pornind și de la opinia (acceptată pe atunci) că Luna nu ar dispune de prea multe roci granitice (ceea ce doar în aparență era plauzibil). Totodată, aceștia presupuneau că, dacă (totuși) granitele erau „fabricate” pe Lună, ar trebui să existe mult mai multe roci granitice pe Pământ (deoarece legile de formare și evoluție a magmelor (terestre sau/si selenare) sînt aceleași). Mai ales că, se aprecia, oricum pe Lună nu ar fi existat procese sedimentare care să transforme roca granitică într-un material avînd compoziția tipică a tectitelor. În pre-



zent au fost perfect delimitate un mare număr de compoziții granitice, dar *nici una* dintre acestea nu este de tip terestru clasic. Astfel, prin analiza mostrelor de sol selenar aduse de expediția „Apollo-14” s-a stabilit în acest praf foarte fin un conținut de numai 1% de rocă sticloasă bogată în siliciu; majoritatea mostrelor analizate erau bogate în potasiu, ceea ce nu este deloc tipic compoziției tectitelor, care astfel nu ar fi putut „supraviețui” în timp, fiind distruse în condițiile specifice peregrinării prin spațiu (mai ales la traversarea unei atmosfere dense). Totuși, un procent destul de modest de rocă granitică selenară (10%—20%) posedă un anumit conținut moderat de potasiu. Specialistul american William P. Glass de la Universitatea Delaware a identificat în mostrele de sol selenar aduse de „Apollo-14” particule sticloase care sînt ceva mai asemănătoare tectitelor deja cunoscute, în ceea ce privește principalele elemente componente; în particular, analiza acestor mostre a demonstrat un exces caracteristic de oxizi de calciu (CaO), magneziu (MgO) și oxid de fier (II), respectiv lipsa marcată de oxizi de sodiu (Na<sub>2</sub>O) și potasiu (K<sub>2</sub>O). Analiza mostrelor de rocă și praf selenar aduse de expedițiile „Apollo-12” și „Apollo-15”, precum și de unele stații robot „Luna”, au demonstrat existența unor particule similare în ceea ce privește compoziția. Experimentele de laborator efectuate de grupul de specialiști de la Universitatea Brown (S.U.A.) sub conducerea cercetătorilor Paul C. Hess și Malcolm J. Rutherford, asupra procesului prin care rocile granitice selenare au ajuns să difere de cele terestre, au demonstrat caracterul reducător al magmei selenare. Se apreciază că, datorită acestuia, magma s-a „îmbogățit” în fier și în alte elemente cristalizate: în timp ce oxidul

feros (FeO)\* a avut tendința de a rămîne în soluție, oxidul feric (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) s-a transformat în magnetită (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) care apoi, s-a tasat. Astfel, magma bogată în fier s-a despărțit ulterior în două fluide nemiscibile: unul dintre acestea va da naștere granitelor selenare sau/și tectitelor, iar celălalt, în materie bogată în fier, a cărui prezență a fost relativ recent pusă în evidență în rocile lunare. Trecînd dincolo de conținutul principalelor elemente, se poate compara conținutul de apă, elemente minore sau chiar urme de elemente, inclusiv „evaziunea” oxigenului sau stadiul de oxidare propriu tectitelor și a materialelor care ar fi putut fi considerate ca sursă a acestora. Tectitele apar mai „uscate” decît sedimentele terestre, al căror conținut în apă pare a fi de cinci ori mai mare. De asemenea, comparate cu rocile sedimentare terestre, tectitele apar deficitare în acele elemente ai căror compuși sînt încă volatili la temperaturi de ordinul a 1000°C, cum ar fi plumbul (Pb), arama (Cu), zincul (Zn), thaliul (Tl). În sfîrșit, trebuie subliniat faptul că tectitele sînt puternic reducătoare; în timp ce în bazalturile terestre presiunea parțială de echilibru a oxigenului este 10<sup>-8</sup> atm, în tectitele cunoscute această cifră de echilibru, semnificînd „fuga oxigenului”, este 10<sup>-14</sup> atm!

Includerea celor trei particularități subliniate mai înainte nu prezintă nici un fel de dificultate atunci cînd ne situăm pe poziția ipotezei vulcanismului selenar; „uscăciune”, conținutul redus în elemente volatile și scăzuta tendință de „fugă” a oxigenului sînt, de fapt, cele trei caracteristici distinctive ale rocilor selenare (așa cum s-a și speci-

\* Conform recomandărilor IUPAC, în loc de oxid feros se folosește oxid de fier II, iar în loc de oxid feric, oxid de fier III.

ficat în primul raport asupra mostrelor aduse de „Apollo-11”). Specialistul american Robin Brett, a comunicat relativ recent că, în zona temperaturilor proprii magmelor fluide, gradientul de „evaziune” a oxigenului pentru tectite este foarte apropiat de cel din cazul rocilor selenare. Desigur, conținutul redus de elemente volatile, de apă ( $H_2O$ ) și de oxigen ( $O_2$ ) propriu tectitelor poate fi interpretat, în principiu, ca o consecință a procesului termomecanic propriu impactului meteoritic pe Pământ. Dacă o rocă este încălzită pînă la o temperatură suficient de mare și un timp satisfăcător de îndelungat, apa, elementele volatile și oxigenul vor migra din această rocă. Atunci cînd se cere să se aprecieze *cantitativ* aceste pierderi, încep dificultățile serioase. De exemplu, elementele volatile „scapă” la un gradient acceptabil numai prin formarea de bule care se ridică către suprafața materiei lichide; dar, admițînd tectitele ca fiind propulsate în spațiu datorită impactului meteoritic, înseamnă că au fost aduse în stare de imponderabilitate pe o traiectorie balistică unde accelerația gravitațională este nulă.

Această stare mecanică ideală numită imponderabilitate, în care se pot afla corpurile materiale evoluînd în spațiu în anumite condiții, este caracterizată prin absența oricărei forțe gravitaționale exterioare; deci este cazul corespondent repausului față de un sistem inerțial de referință ideal, suficient de depărtat de orice masă capabilă să exercite forțe de atracție. Desigur, în cazul bulelor de elemente volatile din cadrul unui material primar al tectitei, imponderabilitatea s-a manifestat și într-un sistem neinerțial, legea de mișcare pe traiectorie a unei tectite fiind aceea a centrului ei de masă, considerat sub acțiunea exclusivă a

cîmpului gravitațional local. În acest caz, sistemul de referință poate fi tratat ca inerțial dacă, pe lîngă forțele reale, se introduce cîmpul inerțial al forțelor de transport și inerțiale, avînd sensul contrar accelerației centrului de masă. În apropierea imediată a centrului de masă al tectitei respective, unde cîmpul gravitațional se poate considera uniform, cîmpul inerțial al forțelor de transport anulează deci acțiunea cîmpului gravitațional local; ca urmare, bulele de gaze existente în interiorul fluid al unei asemenea tectite, inițial în repaus, vor „pluti” în continuare în masa fluidă a tectitei, dacă nu se acționează asupra lor cu forțe exterioare suplimentare [10]. Deci, potrivit legilor mecanicii, forțele care trebuie să se echilibreze în repaus sînt: forțele active, forțele de legătură și forțele de inerție datorate mișcărilor accelerate pe traiectorie a bucății de rocă fluidă numită tectită; ca urmare, se poate scrie:

— forța activă = greutatea bulei de element volatil =  $mg$ , unde  $m$  este masa bulei, iar  $g$  accelerația greutății în locul considerat;

— forța de legătură =  $N$  = reacțiunea fluidului tectitei asupra bulei de element volatil în locul de contact;

— forța de inerție =  $F = -mg \frac{m}{M} R = -ma$ , unde  $M$  este masa întregii tectite (inclusiv bula),  $R$  rezistența mediului ambiant;  $a$  accelerația centrului de masă al tectitei.

Ca urmare, rezultă următoarea ecuație:

$$mg + N - ma = 0$$

sau

$$N = m(a - g) = \frac{m}{M} R.$$



În cazul zborului în spațiul cosmic ( $R = 0$ ) și când forțele de legătură sînt nule ( $N = 0$ ), rezultă că bula se poate obține în orice poziție în interiorul tectitei, problema fiind similară cu cea a situației unui cosmonaut în interiorul unei nave spațiale (aflată pe traiectorie cu motorul oprit) care se găsește în stare de imponderabilitate (avînd *impresia că nu mai are greutate*).

Revenind la procesul fizic de eliminare a bulelor de elemente volatile din materialul fluid al tectitei, trebuie să subliniem că, în condițiile terestre normale, procesul de eliminare a bulelor de gaze dintr-o masă fluidă sticloasă, durează ore sau chiar zile întregi. Acest proces de afinare este dificil chiar în cazul unor materii sticloase fluide avînd componenți foarte fini. Cu atît mai mult apare surprinzătoare această rapidă afinare realizată în cîteva minute pentru tectite, al căror material „stătea” gata să se congeleze, datorită viscozității ridicate, frigului cosmic și absenței gravitației! De asemenea, reducerea substanțială a gradientului de menținere a oxigenului, care la fel este necesară în procesul de transformare a rocilor terestre sticloase în tectite, comportă dificultăți similare; aceasta înseamnă că oxidul de fier III trebuie să se transforme în oxid de fier II, dar acum prin eliberarea la presiunea atmosferică a unei cantități de oxigen substanțial mai mare decît este cantitatea materiei cuprinse în tectita respectivă. Experimentele de laborator au arătat că la presiunea atmosferică, procesul de reducere se oprește atunci cînd raportul oxidului III față de cel II este de cca opt ori mai mare decît același raport în tectite, chiar la temperaturi foarte înalte. Între mostra 12013 de rocă lunară (adusă de echipajul „Apollo-12”), care a fost integral analizată, și tectitele standard, exis-

tă unele deosebiri minore în ceea ce privește urmele elementelor componente: mostra selenară este mai bogată în crom (Cr) și are o proporție potasiu/uraniu (K/U) mai scăzută, un raport plumb-206/plumb-204 mai ridicat, o repartiție diferită a proporției pămînturilor rare și un raport diferit dintre izotopii 18 și 16 ai oxigenului. Pe de altă parte, unele din cele mai recente analize au pus în evidență tectite avînd conținutul de crom similar rocii lunare, precum și mostre de rocă selenară avînd caracteristici similare tectitelor, din punctul de vedere al raportului potasiu/uraniu, precum și proporții ale izotopilor plumbului similare cu ale tectitelor sau distribuții ale pămînturilor rare mult mai asemănătoare cu ale tectitelor.

Cît privește deosebirile afectînd izotopul oxigenului, deoarece au fost deja stabilite unele corelări relative la straturile superficiale ale particulelor de praf lunar, totuși acest lucru evidențiază doar faptul că materialul conținut în tectite a petrecut un anumit timp sub formă de particule foarte fine, posibilitate care este sprijinită de unele aspecte ale structurii tectitelor. În schimb, datele de analiză chimică par să sprijine mai mult originea selenară a tectitelor decît pe cea terestră!...

Fără îndoială însă, cel mai convingător argument în favoarea ipotezei originii selenare este și rămîne uimitorul aspect aerodinamic evidențiat de dr. Dean R. Chapman și colaboratorii de la Centrul de cercetări Ames al Administrației naționale americane pentru aeronautică și spațiu (N.A.S.A.) [2], [15]. Ei au calculat că, dacă se admite „startul” de pe Pămînt al materiei din care ar fi provenit tectitele, aceasta ar fi trebuit să evolueze cîteva sute de metri într-o atmosferă neperturbată. Acest lucru este puțin plauzibil că ar preceda căderea unui

meteorit capabil să dezvolte suficientă energie pentru a lansa în cosmos asemenea „picături” de rocă, ce ulterior aveau să devină tectite. Faptul că atmosfera nu putea fi neperturbată a fost evidențiat de calculele efectuate de Shao Chi Lin de la Universitatea californiană din San Diego, care, pornind de la analize energetice, a stabilit că impactul capabil să „lanseze” tectite de pe Pământ putea fi eficient numai dacă corespundea unei dezvoltări de energie corespunzătoare formării unui crater cu diametrul de aproximativ 300 km și o adâncime de... 40 km! Calculele lui Lin au fost confirmate de Dean Chapman și Donald E. Gault [2], [8], care au prezis că va fi foarte greu de evidențiat, în locurile unde au fost descoperite „depozite” de tectite — cum ar fi zona dintre Australia și Asia, Coasta de Fildeș, America de Nord etc. —, asemenea cratere. Este meritul lui Dean Chapman și a colaboratorilor săi de a fi demonstrat teoretic și experimental că unele din formele curioase, turtite și boante, proprii anumitor clase de tectite, printre care australitele detectate în Australia, au fost provocate de fenomenul binecunoscut în tehnica spațială sub numele de ablație\*, printre tectitele

\* Fenomen fizic prin care un corp ce străbate atmosfera unui astru cu viteză ridicată pierde din substanță ca urmare a încălzirii până la incandescență și vaporizării (sublimării) stratului superficial, datorită apariției fenomenului cunoscut sub numele de unde de șoc [18]. Ablația apare în principal (și se manifestă violent) în partea anterioară a corpului, față de direcția de deplasare în atmosfera respectivă. Căldura provenită din frinarea în atmosferă este preluată în principal de această zonă frontală, care la prima contact cu straturile încălzite (puternic comprimate) ale mediului, fenomenul evoluind progresiv cu durată și viteza de deplasare a corpului prin atmosferă. Fenomenul este deosebit de periculos în cazul deplasării navelor spațiale cu echipaj care revin din spațiu.

analizate din acest punct de vedere s-a aflat și una descoperită de însuși Darwin. De fapt, încă din anul 1893 geologul german A. W. Stelzner [8] a sugerat că australitele au început prin a fi inițial sferice, dar că au fost parțial topite; topirea a evoluat de la vîrf către partea finală a fiecărei tectite ca urmare a rezistenței opuse de atmosferă, rezistență care este proporțională cu viteza de traversare a atmosferei. Apreciem aici că ar fi interesant să estimăm, printr-un calcul aproximativ, ce cantitate de căldură este preluată de o tectită avînd masa inițială de 10 grame.

În acest scop, să presupunem că această tectită, de formă sferică, pătrunde în atmosfera densă cu viteza de 10 km/s și sub un unghi de incidență de cca 35°. În momentul începerii frînării, tectita prezintă o energie cinetică foarte mare care poate fi calculată prin semiprodusul dintre masa  $m$  și viteza  $v$  a tectitei potrivit formulei:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} 0,010 \cdot 10000^2 = 5 \cdot 10^5 \text{ J.}$$

La aceasta se adaugă energia potențială dată de expresia :

$$E_p = \frac{kmMh}{R(R+h)},$$

în care  $k$  este constanta atracției universale ( $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$ ),  $M$  masa Pământului ( $5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ ),  $h$  altitudinea standard (200 km), iar  $R$  raza Pământului (6378 km). Rezultă deci:

$$E_p = \frac{6,6732 \cdot 10^{-11} \cdot 0,01 \cdot 5,97 \cdot 10^{24} \cdot 2 \cdot 10^5}{6378(6378 + 200) \cdot 10^3 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^4 \text{ J.}$$



Prin însumarea celor două energii astfel calculate, rezultă energia totală a tectitei

$$E_t = E_c + E_p = 5,2 \cdot 10^5 \text{ J},$$

corespunzătoare dezvoltării unei cantități de căldură de 122 kcal\*. Această căldură este în parte disipată în mediul ambiant străbătut (ducând la încălzirea și perturbarea acestuia), restul ducând la încălzirea, topirea parțială și ablația corpului tectitei.

Pentru a reproduce în laborator fenomenele presupuse că s-ar fi putut petrece cu aceste tectite pe parcursul zborului lor cosmic, inclusiv perioada foarte dificilă a pătrunderii și traversării atmosferei terestre, Chapman a reprodus dintr-un material sticlos, cu aceleași caracteristici fizice și compoziție chimică, tectite de tipul australitelor (descoperite în Australia) și a supus aceste modele la acțiunea jetului de plasmă provenită de la un arc electric al unui tunel aerodinamic hipersonic\*\*.

\* În calculele prezentate a fost neglijată influența unghiului de incidență (diferit de 0) cu care tectita a pătruns în atmosfera terestră.

\*\* Principiul de funcționare al unui tunel aerodinamic hipersonic cu jet de plasmă produs cu ajutorul unui arc electric este următorul: arcul se formează între cei doi electrozi, pozitiv și negativ, dispuși într-o cameră cilindrică, în care fluidul, numit agent de lucru, se transformă în plasmă fierbinte sub acțiunea temperaturii ridicate dezvoltată de acel arc electric. Electrocul pozitiv este o bară de alimentare, ca în cazul sudurii prin arc, însă cu funcționare (avans) automată; electrocul negativ este — de regulă — o placă cu numeroase orificii, așezată la intrarea într-un ajutor special profilat, pentru a contribui și geometric la continua accelerare a jetului de fluid adus sub formă de plasmă.

Amorsarea tunelului aerodinamic hipersonic cu jet de plasmă, spre exemplu folosind un generator de curent continuu, se face datorită diferenței apreciabile de potențial dintre cele două capete ale electrozilor. Energia electrică produsă de arc

Mostra de material sticlos, sub acțiunea jetului fierbinte de plasmă, s-a scurs către partea posterioară a mostrei, formînd un contur bont caracteristic, foarte asemănător „cercurilor de unde” spirale sau rotunde perfect vizibile pe exteriorul tectitelor naturale...

Chapman a demonstrat că aceste caracteristici, căpătate pe parcursul experienței pe modele, demonstrează că semnele specifice de pe tectite *infirmă* teoria formării tectitelor și lansării lor în spațiu de pe Pământ. Raționamentul a fost următorul: apariția și, mai ales, conservarea acestor forme boante ar fi fost posibilă numai într-un zbor balistic prin atmosferă de tip stabil. (Este adevărat, că multe tectite au avut inițial o formă rotundă, sferică; ele au evoluat dezordonat, astfel încît fenomenul de ablație nu a fost capabil să le determine o formă regulată.) Se pare că australitele ar fi putut avea un zbor stabil cel puțin pe porțiunea traiectoriei urmate printr-un mediu din ce în ce mai dens; totodată, gradul ablației măsurate a indicat că acestea au pătruns în atmosfera densă cu viteze de ordinul a 10—12 km/s. Această prezumție este concordantă cu ipoteza intrării în atmosfera terestră densă, a corpurilor care pornesc de pe Lună și pentru care viteza de reintrare corespunde celei de trimitere spre Lună, și anume 11,2 km/s (mai precis, cum s-a calculat anterior, 11,190 km/s). Desigur, calculele efectuate de Chapman — dealt-

servește pentru vaporizarea fluidului, disocierea moleculelor, ionizarea atomilor și ridicarea temperaturii la mii și chiar zeci de mii de grade. Corespunzător acestor temperaturi, jetul de plasmă este accelerat cu ajutorul unor cimpuri electrice și magnetice, într-un tub profilat special, astfel încît în „camera de experiență” se ating viteze de peste cinci ori viteza sunetului și chiar viteze comparabile cu cele cosmice!

fel verificate și de alți specialiști, printre care și O'Keefe [8] — depind de rezultatele experimentărilor de laborator (de tipul celor efectuate pentru punerea la punct a scuturilor ablativă ale cabinelor cosmice).

În fine, dacă ar fi să alegem între ipoteza vulcanismului selenar și cea a impactului pe Pământ, ar trebui să renunțăm la ipoteza care implică cele mai multe — dacă nu absurdități, cel puțin improbabilități —, iar acesta este cazul cu ipoteza impactului terestru capabil să formeze cratere imense. Și, totuși, este de domeniul absurdului să admitem că încă nu au fost descoperite cratere din epoca Cenozoicului care să aibă dimensiuni comparabile cu... Irlanda, sau că unele calcule standard privind învelișurile termoprotectoare, pentru navele spațiale care au zburat cu succes, ar conține erori grosolane, de ordinul de mărime 5, provenind de la estimarea simplistă a ablației! De asemenea, este foarte greu de admis că, pornind de la un fragment obișnuit de rocă, ar fi posibil să-l transformi instantaneu într-o formă aproape perfectă de material sticlos, complet lipsit de apă, sau că șocul meteoritic ar fi fost capabil să propulseze fragmente mari de pe Pământ cu cel puțin 6 km/s, care să străbată atmosfera cu viteze hipersonice.

Ca urmare, oricine este aproape forțat să accepte concluzia că tectitele, în ciuda remarcabilei lor asemănări cu rocile terestre, au fost „propulsate” către Pământ de către unul, sau mai mulți vulcani de pe *satelitul natural al acestuia!*

Dacă admitem că tectitele își au originea în vulcanismul selenar, trebuie să fim de acord că pe Lună au existat — sau poate se mai găsesc și astăzi, bineînțeles complet și de mult stinși — un anumit grup „select” de vulcani conținând roci cristali-

zate, sticloase. Mai mult, întrucât acest vulcanism asigură, mai precis a asigurat, lansarea aproximativ verticală a bucăților de rocă care au devenit apoi tectite, ajungerea lor pe Pământ a însemnat că trebuie avută în vedere doar o anumită zonă vulcanică de pe Lună, capabilă să asigure lansările spre Pământ. Aceasta fiind situația, tectitele ar putea fi un fel de „mostre-limită” ale materialului granitic selenar. De aici nu este deloc evident, însă, că trebuie să se și deducă faptul că majoritatea proprietăților graniturilor selenare ar coincide cu cele ale tectitelor, ci doar că există o serie de asemănări în ceea ce privește compoziția chimică. Astfel, o luare de poziție „contra” acestei ipoteze nu poate exclude total argumentația compoziției.

Există și alte argumente invocate de cei care se opun ipotezei că Luna ar fi sediul inițial al tectitelor: însăși localizarea regiunilor terestre unde au fost descoperite tectite constituie unul din argumente. Este de presupus că tectitele care, după ce au fost lansate de pe Lună, nu „întilnesc” suprafața terestră au intrat pe o orbită circumsolară. Captarea lor ulterioară de către Pământ este tot atât de posibilă, dar nu apare deloc ca absolut necesar să se descopere asemenea tectite cu o anumită uniformitate de distribuție, mai ales că unele dintre tectitele „capturate” ar putea să se fi distrus în procesul de încălzire și ardere în atmosferă densă. Mai trebuie arătat că presiunea radiației solare, neglijabilă în cazul duratelor reduse ale zborurilor vehiculelor cosmice artificiale, nu este deloc de neglijat când zborul este foarte îndelungat. Într-o lucrare anterioară [19] am arătat că o folosire corespunzătoare a presiunii radiației solare, bineînțeles utilizând vehiculele spațiale cu așa-numita „pînză (sau „velă”) solară”, poate asi-



gura zboruri către planetele sau cometele din sistemul solar. Acum situația este oarecum schimbată: nu dimensiunea mobilului este determinantă pentru procesul de influențare a traiectoriei de către presiunea radiației solare, ci durata zborului, de sute de mii sau chiar milioane de ani, care ar putea fi foarte bine duratele peregrinărilor tectitelor care nu au nimerit direct pe Pământ. Există opinii că această acțiune îndelungată a presiunii radiației solare ar fi putut provoca adevărate rotiri accelerate ale tectitelor, capabile să perturbe considerabil traiectoriile sau chiar să conducă la pierderea acestora definitivă în spațiu.

S-au emis de asemenea ipoteze că de pe Lună nu au fost dizlocate doar mici porțiuni de rocă, care au și devenit ulterior tectite foarte mici, ci chiar bucăți mari de rocă, unele chiar de dimensiuni foarte mari, cîntărind pînă la cîteva milioane de tone. Aceasta ar fi putut fi originea tectitelor găsite în apropierea orașului sovietic Irghiz, din Kazahstan, și care ar fi putut nu numai să producă fragmentele cunoscute sub denumirea de *irghizite*, dar chiar și craterul Zamanshin! Mai mult chiar: în timpul aceluia formidabil impact, o parte din materia conținută în uriașul bloc responsabil de formarea craterului ar fi putut să fie propulsată pe o orbită balistică relativ joasă, însă suficientă pentru a aduce irghizitele în împărăția înghețată a vidului cosmic!

## 5. COSMOCHIMIA ȘI DESCIFRAREA ENIGMELOR „PIETRELOR CERESTI”

Practic, disciplina denumită „chimie spațială” a apărut cu mult înainte de începutul „Erei spațiale” (din anul 1967, s-a convenit ca primă zi a acestei ere ziua de 4 octombrie 1957, cînd a fost lansat în Uniunea Sovietică primul satelit artificial al Pămîntului), în principal datorită studiului meteoriților. Chimia spațială s-a afirmat pe măsura dezvoltării impetuoase a astronauticii, asimilînd experiența și metodologiile unor discipline conexe, rolul său în cunoașterea Universului mărindu-se apreciabil.

În sprijinul acestor afirmații stau nenumărate fapte științifice. Este aici cazul să menționăm că o serie de experiențe de laborator, efectuate cu un meteorit denumit Kunaciak, au permis să fie simulate procesele prin care s-au separat învelișurile solid, lichid și gazos ale Pămîntului. Astfel, meteoriții apar ca un material experimental de neînlocuit pentru studiul acțiunii condițiilor spațiului cosmic.

Majoritatea specialiștilor sînt astăzi de acord că meteoriții sînt, de fapt, fragmente din asteroizi, ale așa-numitelor „miniplanete”. De îndată ce părăsește asteroidul și pătrunde nemijlocit în cosmos, meteoritul începe să suporte acțiunea radiațiilor cos-

mice capabile să „sfărîme” nucleeele elementelor grele, cum ar fi fierul. Acestea sînt condițiile în care se eliberează izotopul heliu-3 (de reamintit că în cazul dezintegrării radioactive se eliberează heliu-4). Măsurînd cantitatea de izotopi ușori emiși în aceleași condiții, se poate deduce timpul cînd materia meteoritului a fost supusă acțiunii radiației cosmice și, deci, momentul în care asteroidul a explodat sub acțiunea unei coliziuni. Se pare că în aceasta constă „misterul” datorită căruia chimia spațială reușește să determine cu precizie vîrsta de milioane sau chiar miliarde de ani a asteroizilor (mai precis a meteoritilor). De exemplu, vîrsta meteoritului căzut în regiunea Sihote-Alinsk este apreciată în jurul a 170 milioane de ani, meteoritul căzut în regiunea Kiria din R. P. Chineză ar avea doar 8 milioane de ani de cînd s-a detașat de „asteroidul mamă”, iar Meteor Crater din Arizona (S.U.A.), care este extrem de tînăr (doar 70 de mii de ani), se pare că a fost produs de un asteroid în „vîrstă” de numai 5 milioane de ani. Cel mai tînăr meteorit cunoscut pînă în prezent este cel din Ramsdorf, care a provenit din fragmentarea unui asteroid-mamă acum 2—4 milioane de ani.

Pe suprafața terestră meteoriții au produs cratere care s-au conservat timp de milenii, spre deosebire de craterele de pe Lună care s-au menținut neschimbate milioane de ani. Pe Pămînt au fost descoperite circa 80 de cratere de origine sigură meteoritică (se pare că lista ar cuprinde 250 de cratere, dar este nesigură), majoritatea fiind descoperite prin intermediul datelor furnizate de sateliții de teledetecție. Și în prezent se descoperă noi cratere de origine meteoritică. Spre exemplu, craterul care conține lacul canadian Manicouagan

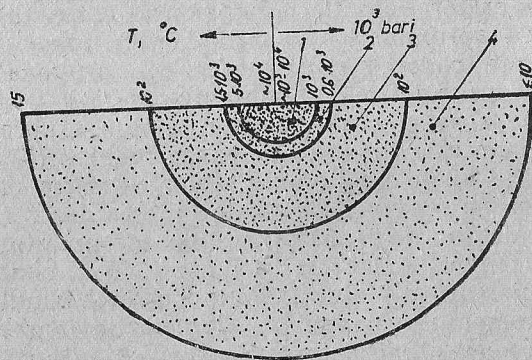


Fig. 14. Schema stărilor și a parametrilor substanței în zona de explozie a unui meteorit, la suprafața Pămîntului: 1 — materie gazoasă la presiuni și temperaturi mari; 2 — topitură; 3 — modificări de fază aduse silicaților; 4 — rocă intens afectată de explozie.

din apropierea localității Quebec, cu un diametru de 66 km, format din roci cristaline precambriene acoperite cu roci vulcanice mezozoice, a fost „redescoperit” cu ajutorul sateliților stabilindu-se originea lui meteoritică (el fiind, de fapt, și cel mai mare crater meteoritic terestru cunoscut pînă în prezent). Și mai recent, echipa condusă de P. J. Cannon, de la Departamentul geologic din Universitatea din Alaska, a stabilit — prin interpretarea datelor furnizate de satelitul de teledetecție „Landsat”-1 — că depresiunea largă de 12,4 km și adîncă de 0,5 km în centrul căreia se află lacul Sithylemenkat este produsă de căderea unui meteorit în Alaska. Mărturie stau descoperirile de nichel, precum și alte date, care au condus pe specialiști la ipoteza că meteoritul ce a provocat formarea



acestui crater a avut, la momentul impactului, o masă de aproximativ 50 milioane de tone\*.

Desigur, căderea unui meteorit a provocat totdeauna un reviriment deosebit, oferind posibilitatea de a se efectua cercetări ample asupra materiei provenite din spațiu, adesea meteorii fiind denumiți „fosilele sistemului solar”. Printre meteorii care au provocat și provoacă un interes foarte amplu, un loc de frunte îl deține așa-numitul meteorit „Tungus” căzut la 30 iunie 1908 în zona Extremului Nord a Uniunii Sovietice, în bazinul râului Pokamennaia Tunguska. Cercetările îngreunate în acea perioadă de interesul scăzut al autorităților, nu au permis obținerea de la început a unor concluzii asupra originii acestui fenomen, făcându-se chiar unele ipoteze din cele mai fanteziste: ciocnirea Pământului cu coada unei comete, explozia unei nave cosmice extraterestre atrasă către suprafața terestră și chiar lovirea Pământului de către o „părticică” de antimaterie ori cu o gaură neagră (cum este numită acea microstea extrem de condensată în urma colapsului gravitațional care are loc după explozia unei supernove — stea aflată în ultima perioadă a „vieții” sale). Asemenea ipoteze au derivat din calculul efectuat de savanți, care observând rezultatele fenomenului la sol și în aer (unda de șoc, urmele terestre, fenomene tectonice, acustice, luminoase etc.) au conchis că energia aferentă ar fi de ordinul de mărime a celei dezvoltate prin explozia unei bombe termonucleare de 20 megatone (echivalentul a 20 milioane tone de exploziv TNT standard). La o asemenea energie, este evident că meteoritul care, se pare, era res-

ponsabil de acest fenomen, a explodat în aer iar materia conținută s-a vaporizat! Analiza cu metodele chimiei spațiale — atomi marcați cu carbon-14 — a inelelor unor arbori seculari de pe teritoriul S.U.A., având vechimi cuprinse între anul 1873 și anul 1933, a dus la descoperirea de incluziuni neobișnuite, pe care specialiștii americani l-au pus pe seama originii particulelor de antimaterie, în timp ce specialiștii sovietici și japonezi au emis alte ipoteze. Dealtfel, asocierea de noi metode experimentale cu tehnicile nucleare de cercetare autorizează să se prevadă obținerea de informații de-a dreptul senzaționale în domeniul studierii meteoritilor prin metode de chimie spațială. Încă din anul 1955, cercetînd cu ajutorul sincrofazonului\* mostre de rocă provenind din meteorii supuși unui bombardament cu fascicule de particule accelerate, specialistă sovietică V. Lavruhina a demonstrat o ipoteză mai veche a savantului sovietic Vernadski, conform căreia razele cosmice au acționat asupra materiei prin modificarea compoziției izotopice a acesteia. Interacția dintre fasciculul de particule (de ex. protoni) și materia meteoritică, supusă acestei acțiuni penetrante, a permis să se deducă, pentru prima dată, o lege privind modul în care este pierdută o parte din materia meteoritului atunci cînd acesta pătrunde cu viteze hipersonice (de peste cinci ori mai mari decât viteza sunetului în mediul respectiv) în atmosfera terestră. În acest fel, „...” a fost lichidată o lacună în cunoștințele noastre științifice asupra me-

\* Detalii în lucrarea *Lacurile Terrei* de P. Giștescu, Editura Albatros, București, 1979.

\* În sincrofazon atît cîmpul electric cit și cîmpul magnetic sînt mărimi variabile; traiectoria particulei accelerate este circulară, iar în timpul perioadei de accelerare energia particulei atinge 10 000 MeV — 10 GeV (10 gigaelectronvolți).

teoriilor, anume absența datelor asupra dimensiunilor preatmosferice reale ale corpurilor meteoritice; singura metodă este aflarea distribuției în profunzimea materiei mostrei de meteorit, a vitezelor de formare a izotopilor elementelor componente sub acțiunea radiațiilor spațiale provenite din cosmos". Alegerea meteoriților pentru asemenea studii — foarte interesante și devenite clasice în chimia spațială — s-a făcut deoarece "... meteoriții sînt sursa principală a materiei cosmice" care ajunge pe Pămînt. Potrivit tezei de bază a specialiștilor care s-au afirmat în domeniul chimiei spațiale, printre care, în primul rînd, sovieticul Vinogradov, „materia meteoriților și, evident, a corpurilor din care ei au provenit, asteroizii, a fost mult mai puțin modificată în decursul anilor scurși de la formarea lor (cca 4,5 miliarde de ani) decît s-a întîmplat cu materia din care se compune Pămîntul. Acesta este principalul motiv pentru care meteoriții rămîn cea mai bună sursă de cercetare a stadiilor primordiale de formare a corpurilor din sistemul solar" [6].

Cercetările în domeniul menționat, în special analiza cu ajutorul metodelor fizicii nucleare a materiei meteoritice, au dat roadele așteptate de promotorii lor; mai mult, a putut fi pusă la punct o **metodă originală de determinare a orbitelor meteoriților sau, ceea ce este aproximativ același lucru, a „înălțimilor” de unde aceștia cad pe pămînt.** Deși cercetătorii cehoslovaci, care au studiat primii meteoritul din Pribram, dețin prioritatea abordării acestei probleme, ea a fost reluată prin cercetările efectuate în laborator de specialiștii sovietici ai școlii de chimie spațială din U.R.S.S., condusă de Vinogradov, precum și de cercetătorii americani de la N.A.S.A., Dean Chapman și colegii aces-

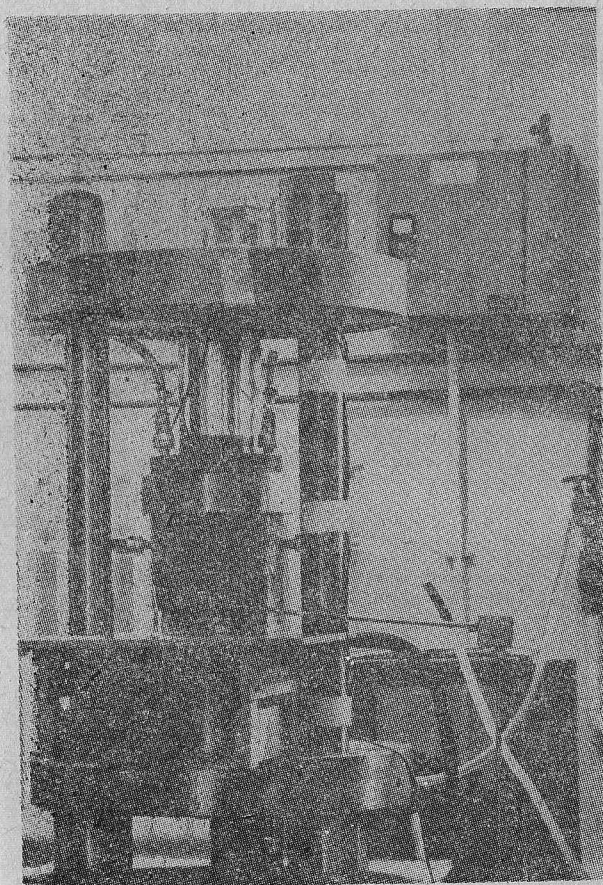


Fig. 15. Instalație hidraulică pentru supunerea mostrelor de rocă selenară, meteoriți sau tectite la presiuni de 50 000 bari și temperaturi de 2000°C.



tuia. Rezultatele cercetărilor lor, pornind de la ipoteze ale chimiei spațiale și de la verificări experimentale ale ipotezelor provenind din acest domeniu, au fost deosebit de utile constructorilor de nave spațiale.

*Tabelul 1*

**Compoziția chimică a rocilor lunare\***

Oxizii unor elemente chimice	Rocă bazaltică adusă de „Luna”-12	Rocă bazaltică adusă de „Apollo”-12
Siliciu	43,8	40,0
Titan	4,9	3,7
Aluminiu	13,65	11,2
Fier	19,35	21,3
Magneziu	7,05	11,7
Calciu	10,4	10,7
Sodiu	0,38	0,45
Potasiu	0,15	0,065
Mangan	0,20	0,26
Crom	0,28	0,55
Zirconiu	0,04	0,023

\* Datele sînt luate din lucrarea Larisei Markelova, „Cluci k planetam” (Cheia pentru planete) [6], 1976; autoarea reproduce acest tabel din lucrările academicianului A. Vinogradov.

*Tabelul 2*

**Compoziția chimică a unor meteoriți\***

Elementul sau compusul chimic	Hondriți	Hondriți pe bază de carbon
Silicați	75 — 86%	76 — 90%
Apă	0,2 — 0,3%	1 — 21%
Metale în stare liberă	8 — 19%	0,1 — 3,5%
Compuși cu carbon	0	0,5 — 7,5%
Azot	0	0,01 — 0,3%

\* Din lucrarea lui A. Dupas: „L'industrialisation de l'espace”, (Industrializarea spațiului), 1978.

Una dintre secțiunile chimiei spațiale tratează legile care guvernează formarea și distribuția produselor de transmutație nucleară în corpurile spațiale naturale, precum și al rolului pe care-l joacă aceste reacții în cunoașterea proceselor de formare a corpurilor. Or, tocmai studiul meteoriților, al asteroizilor, al tectitelor și, evident, al mostrelor de rocă (praf etc.) prelevate din materia componentă a altor corpuri cerești (în special cele telurice, respectiv Marte, Mercur, Venus, Pământ) poate da un răspuns la chestiuni importante referitoare la existența vieții pe planeta noastră. La „granița” dintre bioastronautică și chimia spațială se află domeniul de interferență numit, uneori, cosmobiologie sau biologie spațială; un exemplu de problemă aferentă acestei discipline de graniță este ipoteza emisă de A. Lavruhina studiind materia din interiorul meteoriților bogați în carbon, conform căreia pot apare compuși organici în urma acțiunii radiațiilor cosmice asupra unui amestec de apă, bioxid de carbon ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ) și alte câteva gaze. Bineînțeles, totul s-ar fi petrecut acum 3 sau 4 miliarde de ani, cînd Pământul nu avea încă un înveliș atmosferic gazos, capabil să-l protejeze de acțiunea acestor radiații, și era sediul nu numai al unor formidabile cataclisme și rearanjări tectonice, dar și al unor puternice reacții chimice și nucleare, de pe urma cărora au apărut o multitudine de compuși organici complecși. Un rol important în acest sens se pare că ar fi avut probabila explozie — din apropierea sistemului solar — a unei supernove. Această explozie a mărit nivelul de radiație afectînd Pământul într-o epocă geologică anumită (Precambrian sau chiar Cambrian) cînd au avut loc modificări substanțiale ale formelor de viață de pe Pământ; acest

fapt a fost și el demonstrat, într-o anumită măsură, prin analizele de chimie spațială asupra mostrelor prelevate din meteoriți și tectite.

Întrucât anterior s-au făcut referiri la unele aspecte privind biochimia, este cazul de a se menționa următoarele: binecunoscută pentru rezultatele obținute în ultimii ani, unele apreciate de specialiști ca fiind de-a dreptul spectaculoase, biochimia este acea disciplină științifică care tratează studierea compoziției și a proprietăților chimice ale corpurilor vii (organisme), în strînsă corelație cu procesele biologice. Extinderea acestor activități de ansamblu la cercetările efectuate nemijlocit în spațiul cosmic vizează două aspecte importante, tratate de cosmobiologie (sau biochimie spațială), și anume:

a) existența vieții pe planete ale sistemului solar;

b) cercetarea și descoperirea de forme de viață, evident inferioare, pe meteoriți, asteroizi etc.

La aceste două aspecte de bază s-ar mai putea adăuga încă unul, care a apărut odată cu plasarea pe orbită a unor laboratoare de cercetări, fie automate, fie cu echipaj, și anume cercetarea desfășurării unor procese biochimice în condiții de imponderabilitate și alți factori proprii zborului spațial (radiații, temperaturi coborîte, vid înaintat etc.). Asemenea cercetări de biochimie spațială au fost desfășurate de echipajele care au locuit și lucrat la bordul laboratoarelor spațiale „Saliut” (sovietice) și „Skylab” (american); ele sînt prevăzute și pentru anii 1982—1984 la bordul viitorului laborator spațial vest-european denumit „Spacelab”. Printre problemele deosebit de interesante pentru evoluția chimiei spațiale și a biologiei cosmice se numără: analiza menținerii imunității organismu-

lui uman în cosmos, prin urmărirea schimburilor la nivelul chimismului celular al organismelor în condiții de imponderabilitate prelungită; cercetări asupra singelui prin înregistrarea frecvenței modificărilor cromozomilor leucocitelor, ca bază de control a majorității funcțiunilor biochimice ale organismelor supuse factorilor zborului cosmic; studierea influenței ponderabilităților extreme asupra funcțiilor biochimice ale organismelor vii și în special, ale organismului uman; analiza modificărilor biochimice la nivelul celular al hematiilor considerate ca indicator al modificărilor psihologice produse de zborul spațial îndelungat etc.

Cercetări de biochimie spațială a efectuat fiecare din stațiile spațiale de tip „Viking”, care au coborît lin pe planeta Marte în perioada septembrie—decembrie 1976; într-un anumit fel, programul „Viking” poate fi considerat cea mai amplă cercetare de laborator de chimie spațială efectuată în spațiul extraterestru. Ele au avut ca scop descoperirea eventualelor forme de viață pe Marte; deși răspunsul nu a fost concludent, probabil și datorită faptului că s-a mers pe ideea că există numai viață bazată pe chimia carbonului; concluzia acestor cercetări ample a fost următoarea: probabilitatea existenței unor forme de viață pe planeta Marte este mică. Totuși, au adăugat responsabilii cu interpretările datelor transmise pe sol după ce au fost efectuate trei categorii de experimente de biochimie (verificări ale asimilării clorofilene, studierea eventualului metabolism al substanțelor cercetate, cercetarea eventualelor schimburi de substanțe marcate radioactiv), pe Marte există fenomene chimice deosebite, iar chimiosinteza pe această planetă pare a nu fi de natură biologică. Problema rămîne deschisă deoarece, așa cum s-a mai arătat,



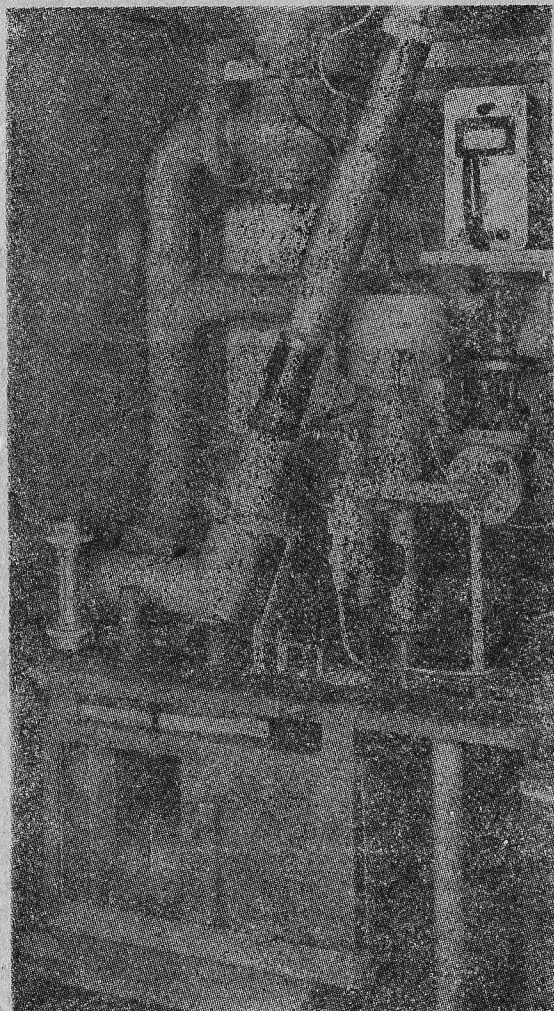


Fig. 16. Instalație destinată completului de supunere a mostrelor de rocă selenară, meteoriți și tectite la probe de iradiere (DIDO).

unii dintre specialiști, au apreciat că pe Marte ar fi putut exista forme de viață pe care limitările aparaturii folosite de cele două stații automate „Viking” să nu le fi permis detectarea...

Urme ale fenomenelor care au concurat la formarea și apariția vieții pe Pământ, pe care specialiștii în biochimie spațială le caută fie pe Pământ, fie în meteoriți ori pe alte corpuri cerești, sînt pare-se conținute și în urmele de diamant\* — formă alotropică a carbonului — găsite în unele bucați de meteoriți.

Spre deosebire de disciplinele bine statuate în ultimii ani de rezultatele obținute pe orbită, ca biomedicina spațială, studiile actuale de cosmochimie, cumulate cu cele de selenologie și selenochimie, trebuie încă să facă apel la multe ipoteze, mai ales dacă se încearcă a se unifica unele informații provenite de la analiza datelor privind mostrele de sol selenar cu cele prelevate din meteoriți sau tectite. Trebuie depășită, deci, etapa de cumulare a datelor provenite din cercetările de chimie terestră cu cele deduse în chimia spațială. Desigur, este încă destul de departe momentul în care se vor utiliza informații și rezultate ca urmare a unor programe ample, încredințate unor laboratoare de

\* Cristalizat în sistem cubic; fiecare atom de carbon, C, se leagă prin patru covalente de alți patru atomi de carbon. Diamantul pur este incolor, uneori colorat negru, galben sau albastru; este puțin reactiv, aprinzindu-se în oxigen la temperatura de 800°C, cînd se transformă în bioxid de carbon conform reacției:  $C_{\text{diam}} + O_2 \xrightarrow{800^\circ C} CO_2$ . Diamantul, corp cu duritate maximă (10), a luat naștere în scoarța terestră în procese tectonice, prin cristalizarea carbonului dizolvat în magma topită la presiuni ridicate. Diamantele apar, de regulă, sub formă de corpuri de dimensiuni reduse, incluse în roci eruptive sau în filoane; conținutul de diamant la tona de rocă este foarte redus (în jurul a 0,5 g).

cosmochimie amplasate direct în spațiu, pe orbite circumterestre sau pe Lună...

Un rol destul de important, în faza actuală, este jucat de planetele mici — planetoizi sau asteroizi — care dețin, datorită condițiilor lor proprii (lipsa unei atmosfere, gravitație redusă, intens bombardament meteoritic, activitate tectonică considerată destul de redusă în timp etc.), un loc privilegiat. Savantul sovietic Vinogradov, unul dintre întemeietorii chimiei spațiale, considerind Luna printre acești mici aștri, *poate chiar un fost asteroid captat cândva de Pământ*, pune în evidență unele proprietăți ale Lunii, prin comparație cu situații oarecum similare pe Pământ, care ajută observațiile de cosmochimie. Astfel, deoarece pe Lună lava bazaltică s-a scurs și s-a solidificat în vid, altfel decât pe Pământ, prin evacuarea fazelor gazoase s-au format în lavă cavități de dimensiuni mai mari. Descifrarea diferitelor situații proprii rocilor lunare trebuie, deci, să țină seama de analizele de chimie spațială, dar și de asemenea ipoteze, bazate atît pe fapte incontestabile, cît și pe presupuneri privind evoluția cea mai probabilă în timp.

Revenind la lăvele selenare, analizele de laborator au „depus mărturie” că acestea, chiar înainte de a se solidifica, erau supuse acțiunii radiațiilor și meteoriților, inclusiv a așa-numitelor „rafale” ale vîntului solar\*, format în principal din radiații ul-

\* Fluxul continuu al radiației corpusculare (protoni, electroni, nuclee de heliu, ioni de oxigen, azot și carbon) emise de Soare, ca urmare a expansiunii permanente a coroanei solare. La temperaturi de milioane de grade a coroanei solare, se produce un fenomen de expansiune magnetohidrodinamică a plasmelor coronale în spațiu, cu toată valoarea ridicată a atracției gravitaționale solare. Astfel, acest flux care părăsește Soarele atinge viteze mari (între 400 și

traviolete, gamă și neutronice, precum și din particule alfa; aceste radiații sînt foarte penetrante dar formele de viață de pe Pământ sînt apărute de acțiunea lor nocivă, prin stratul gros al atmosferei terestre.

După ce s-a ajuns la concluzia că la formarea scoarței selenare actuale, mai precis a reliefului actual al Lunii, au contribuit în mod determinant atît bombardamentul meteoritic cît și erupțiile vulcanilor selenari, una din cele mai controversate probleme de selenochimie a fost determinarea radioactivității solului satelitului natural al Pămîntului. Pe baza rezultatelor de laborator, unde s-au simulat condiții de fuziune locală analoage celor care se presupune că au acționat în cazul Pămîntului, au fost obținute metode de analogie cu condițiile în care s-a produs fenomenul de radioactivitate indusă de pe Lună. Astfel, s-a demonstrat ipoteza că radioactivitatea satelitului natural al Pămîntului a provenit nu de la o sursă interioară, ci de la una exterioară (în special, de la radiația cosmică primară). Bombardînd suprafața selenară,

800 km/s) chiar la nivelul orbitei Pămîntului, exercitînd o multiplă acțiune asupra spațiului interplanetar, mai ales datorită densității sale apreciabile și formei spiralate a cîmpului magnetic interplanetar. Sub acțiunea vîntului solar se exercită un fel de presiune asupra liniilor de forță ale cîmpului magnetic al Pămîntului, fapt care determină formarea așa-numitei magnetosfere a Pămîntului (regiune a spațiului periterestru aflată sub acțiunea cîmpului magnetic terestru și delimitată la exterior tocmai de acest vînt solar). Magnetosfera Pămîntului, care este, începînd din 1976, studiată cu sateliți artificiali, are o importanță deosebită pentru cercetarea proceselor din atmosfera înaltă și ionosfera terestră. Ca urmare a cercetărilor efectuate în ultimii ani cu ajutorul stațiilor interplanetare automate, au fost descoperite și alte magnetosfere, cum ar fi ale planetelor Jupiter și Mercur.



aceste radiații au determinat o excitare a radiației de suprafață, producând radiația indusă ca urmare a unui proces de „accelerare energetică”... Interesantă a fost constatarea că radioactivitatea selenară indusă este foarte asemănătoare cu cea detectată în mostrele de meteoriți cercetate în fizica nucleară. Este de presupus că unele similitudini există și în cazul tectitelor, cercetările din acest domeniu fiind în curs. Aceste cercetări de radioactivitate indusă și măsurătorile efectuate asupra mostrelor de „pietre cerești” au permis evidențierea de concluzii asupra intensității și compoziției energetice a radiației cosmice din spațiul Pământ-Lună, inclusiv pe traseele pe care tectitele ar fi putut ajunge pe Pământ.

Concluzia cercetărilor de laborator a fost că 90% din intensitatea totală a radiației gama proprie rocilor selenare se datorește radioactivității induse, restul provenind de la radioactivitatea naturală a potasiului, toriului și uraniului...

Studiul meteoriților și al tectitelor cu ajutorul metodelor chimiei spațiale a sugerat foarte multe teorii științifice cu aplicații în cercetarea materialelor aduse de pe Lună, despre care s-a ajuns la concluzia că reprezintă o materie intermediară între meteoriții pietroși și rocile bazaltice terestre, având foarte multe elemente comune tectitelor... Cercetarea „in extenso” a materiei selenare, a acelei regolite extrem de interesant, cu capacități foarte ridicate de a se electriza (regolitul este intens atras de o placă de sticlă ușor electrizată), a demonstrat că, pe măsură ce se pătrunde în adâncimea stratului superficial al scoarței selenare, regolitul devine dintr-un strat foarte poros și cu caracteristici optice deosebit de reflectante un material tot mai grosier, conținând particule cu dimen-

siuni de 70—120 $\mu$ . Astfel, la adâncimi de ordinul a 30—45 cm, masa specifică a solului a atins chiar valori de cca 1,2 g/cm<sup>3</sup>. S-a stabilit că proprietățile optice deosebite ale regolitei sînt dependente de miliardele de oglinzi microscopice constituite din fațetele particulelor vitrificate componente ale regolitei, fenomen care a făcut ca primii vizitatori ai Lunii să aibă iluzia că orizontul lunar ar fi foarte aproape de ei... Tot acest fenomen a fost apreciat ca răspunzător de variațiile albedoului în raport cu locul de observație de pe Lună și, mai ales, de diferențele de neînțeles între modurile de percepere a culorilor, chiar și în raport cu unghiul sub care era observat, de același observator, un anumit corp pe Lună. Caracteristicile scoarței selenare ar putea fi înțelese mai bine dacă se au în vedere cele opt tipuri de roci identificate în mostrele de rocă selenară aduse pe Pământ [6]: roci bazaltice; roci anortozitice (feldspaturi); particule minerale izolate; sferule solidificate; breccii; aglomerate; particule sticloase; particule de fier metallic.

Metoda folosită de aparatura montată pe stațiile interplanetare care au aterizat lin pe Marte, „Viking”-1 și 2, pentru analiza mostrelor de rocă prin supunere la un proces de încălzire intensă, de tipul pirolizei, a fost întrebuințată încă înainte de anul 1970 într-unul din laboratoarele de chimie spațială din Uniunea Sovietică: o sferă solidificată din materialul selenar adus pe Pământ a fost supusă unei temperaturi destinată fuziunii zonale; mostra nu s-a topit înainte de a se atinge valoarea temperaturii corespunzătoare procesului respectiv pe Lună, în condițiile corespunzătoare. Studiul particulelor de rocă sticloasă, vitrifiată, sau zgurificată aduse de pe Lună, a fost deosebit de interesant pentru

analiza ulterioară a tectitelor. Astfel, după ce a fost stabilită culoarea dominantă a acestora, maron și negru-marونیu, s-a conchis că este caracteristică fuziunea poroasă și scorificarea, tipic lunară, care s-a produs sub efectul încălzirii instantanee a unei particule reci, ceea ce distinge sensibil acest mod de vitrificare selenar de cel produs în cazul rocilor sticloase vulcanice de pe Pământ. Studiul rocilor selenare — al meteoriților și al tectitelor prezintă un interes deosebit pentru o mai bună înțelegere a proceselor care s-au petrecut în trecutul Pământului, în special în prima etapă a formării sale. Ca metode de investigare s-au impus, în primul rând, analiza chimică și izotopică a mostrelor din rocile sus-menționate. Modificările izotopice, în special, prezintă capacitatea de a ilustra clar diferitele procese fizice și chimice (de exemplu dezintegrarea radioactivă naturală, descompunerea chimică, bombardamentul meteoritic și de radiații cosmice, solare) cărora Luna, asteroizii sau meteoriții mari le-au servit drept scenă de desfășurare. Dinamica modificărilor izotopice poate indica, pentru un element atât de abundent cum este oxigenul, temperatura de cristalizare a rocilor astrului de proveniență, fie că este Luna, sau un asteroid oarecare. Se pare că asemenea temperaturi ajung pînă la valori de ordinul de mărime de 1200—1300°C.

Asemănarea principală dintre toate rocile de proveniență extraterestră analizate pînă acum (cu excepția celor de pe Marte) constă în lipsa apei și, mai ales, în faptul că s-au solidificat în excepționale condiții de uscăciune. Potrivit specialistului sovietic Vinogradov, aceasta furnizează argumente pentru ipoteza provenienței planetelor sistemului solar dintr-o materie primară din care ar

proveni și materia meteoritică. Desigur, această ipoteză are în vedere numai planetele telurice, din așa-numita familie a Pământului (Mercur, Marte, Venus, Pământul și, prin excepție, Luna). Cu totul alta este situația marilor planete — Jupiter, Neptun, Saturn, Uranus — despre care sînt încă multe semne de întrebare, deși stațiile interplanetare automate din familia „Pioneer” și „Voyager” au furnizat foarte multe informații despre ele.

În anul 1975, o echipă de specialiști geologi și chimiști de la Institutul unional de geologie al Academiei de Științe din Uniunea Sovietică, printre care P. V. Florenski, a anunțat că a descoperit tectite în zona craterului Zamanșin, din apropierea orașului Irghiz din Kazahstan. Descoperirea acestor tectite, deosebit de interesantă, s-a dovedit și extrem de utilă pentru știință, analiza acestor tectite denumite „irghizite” furnizînd noi informații despre posibilitatea de formare pe pământ a unei clase de tectite. Această ipoteză a fost reluată la puțin timp după această descoperire, cînd, de această dată în apropierea lacului Aral, într-o regiune deșertică situată la 200 km nord de acest lac, au fost descoperite alte tectite, cu dimensiuni de pînă la 3 cm. În ambele cazuri s-a apreciat că aceste pietre sticloase, cu proprietăți deosebite de cele existente în solul terestru, se formează în momentul impactului unor meteoriți de dimensiuni mari cu scoarța terestră; în cazul irghizitelor, ciocnirea se pare că ar fi avut loc cu cca un milion de ani în urmă, în timp ce în cadrul tectitelor din zona Mării Aral evenimentul ar fi avut loc acum aproximativ 8 milioane de ani (meteoritul avînd o masă de cel puțin un milion de tone, ceea ce ar corespunde la un diametru echivalent de cîteva sute de metri!).



Asocieria dintre locul unde au fost găsite tectitele și un crater datorat impactului meteoritic a mai fost întâlnită și în alte cazuri [12], cum ar fi cazul tectitelor găsite în insula Aouelloul din Arhipelagul Mauritania, precum și în Tasmania (unde au fost detectate „rocile sticloase de tip Darwin”). Totuși, nu toți oamenii de știință care au analizat această, curioasă asociere, dintre craterele de impact și descoperirea de tectite, sînt unanim în a aprecia dacă tectitele au fost mai întii, sau craterul? Adică: tectitele au apărut datorită formării craterului sau blocul de materie cosmică a determinat apariția craterului... Aceasta a constituit și subiectul disputei dintre savanții americani și cei sovietici care au analizat materialele și mostrele de rocă terestră și tectitele din zona craterului Zhamanshin, prin comparație cu cele culese (și analizate) din alte locuri de pe glob, (cazul tectitelor din zonele menționate, pentru care s-au găsit și remarcabile asemănări). Apreciind asemănarea acestor irghizite cu javanitele, Kurt Fredriksson de la Institutul Smithsonian (S.U.A.) a subliniat totodată și faptul că fiecare mostră de irghizită era identică cu celelalte irghizite din punctul de vedere al compoziției chimice (excepțional de uniformă). Probleme similare au fost descoperite în cazul craterului de origine meteoritică ce conține lacul Eligigigtgin (pen. Ciukotka), unde au fost detectate tectite, numite impactite, cu vechimea de 3,5 milioane de ani.

## 6. SEMNIFICAȚIA COSMOLOGICĂ A STUDIULUI METEORIȚILOR ȘI TECTITELOR

Dacă cercetările asupra meteoriților au început încă din secolul trecut, cînd aceste corpuri au „scăpat” de falsa aureolă a superstiției că ar fi capabile să facă minuni, în schimb studiarea tectitelor este de dată foarte recentă, deși ele au vechimi respectabile, cu nimic mai prejos decît vîrstele... matusalemice ale meteoriților.

Tectitele numite javanite (după numele insulei Java din Indonezia), sînt membre ale uneia din cele mai numeroase ramuri ale tectitelor, cîntărind cam 100 milioane de tone, care au căzut cu cca 750 000 de ani în urmă, în zona cuprinzînd (astăzi) Oceanul Indian, China de Sud, Asia de Sud-Est, Indonezia, Filipinele și Australia. Acest domeniu al cîmpului de acțiune a tectitelor australasianite a fost delimitat prin descoperiri succesive, care au demarat prin cercetările întreprinse de însuși marele savant Charles Darwin (1809—1882) la bordul vasului „Beagle”. Datarea acestor tectite s-a realizat cu ajutorul analizei izotopice, prin stabilirea proporțiilor izotopilor-40 ai potasiului și, respectiv, ai argonului sau prin stabilirea fragmentelor de fisiune (un aparat de tip contor „numără” fragmentele produse prin fisiunea naturală a uraniului).

O altă metodă, ceva mai lentă dar totuși destul de nouă, admite analiza prezenței microtectitelor în anumite zone ale platformei continentale suboceane, în legătură cu prezența anumitor microfossil marine și cu unele modificări ale câmpului magnetic planetar; datele de stratigrafie sînt totuși contestate de mulți specialiști, chiar dacă la elaborarea lor au participat geologi de înaltă competență științifică, din lipsa aparaturii cu o precizie ridicată.

În contrast cu tectitele de forme contorsionate descoperite în apropierea craterelor de impact, tectitele din regiunea Asia—Australia au forme mai rotunjite, uneori asemănătoare unei picături de apă, unui disc sau unei mici sfere, evidențiind și pe această cale că au fost, în majoritate, supuse unor eforturi termice și altor tensiuni interne. Numeroase prezintă compoziții similare, dar există și câteva subgrupe din care fac parte tectite chimic identice a căror repartiție este extrem de interesantă, situîndu-se pe cîteva zone înguste radiale, foarte lungi.

Peste tot însă tectitele au prezentat o marcată deosebire de rocile caracteristice zonei unde au fost descoperite, în ceea ce privește compoziția chimică. Toate aceste fapte arată clar că zona de găsire și localizare a tectitelor de genul australitelor provine de la un nucleu principal, fie că acest nucleu are origine terestră, fie că vine din spațiu; aceasta revine la susținerea încă o dată a teoriei conform căreia zona „de lansare”, odată stabilită, din răspindirea tectitelor pe Pămînt va rezulta definitiv și mecanismul conform căruia s-a desfășurat procesul de geneză a acestor atît de interesante și deosebite tectite! Totodată, finalizarea teoriei genezei tectitelor va permite și stabilirea cauzelor

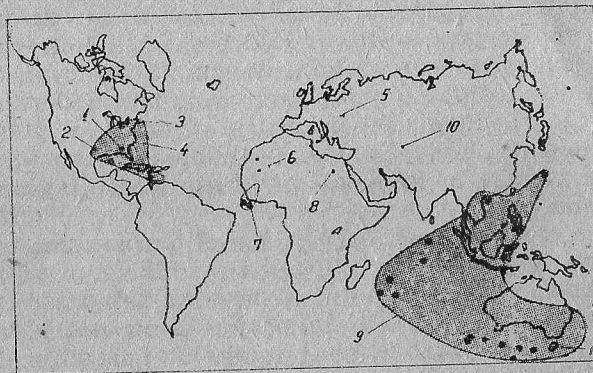


Fig. 17. Zona de răspindire a tectitelor pe Pămînt: 1 — Georgia; 2 — bediasite; 3 — Canada; 4 — zona nord-americană (35 milioane ani); 5 — moldavite (15 milioane ani); 6 — tectite de Aouelloul (4 milioane ani); 7 — Coasta de Fildeș (1 milion ani); 8 — Libia (28 milioane ani); 9 — zona austral-asiatică (750 000 ani); 10 — irghizite (1 milion ani); 11 — roca sticloasă Darwin.

pentru care există zone foarte întinse, chiar de peste 10 000 km, pe care sînt „presărate” aceste curioase „pietre cerești”. În afara regiunii austral-asiene, care este cel mai amplu domeniu de detectare a tectitelor, chiar și în celelalte două regiuni vaste — cea Nord-Americană și cea din Sudul Africii — trebuie aplicate aceleași raționamente. Astfel, în zona Nord-Americană au fost găsite cele mai „vechi” tectite, datate la 35 milioane de ani, cu masa totală apreciată la cca un miliard de tone. Delimitarea acestei regiuni [8] a cuprins următoarele zone: de la Golful Mexic și Marea Caraibelor și pînă la Caracas în Venezuela și apoi pînă în sudul Canadei. În ordinul „vîrstei” urmează: tectitele descoperite în deșertul Libiei (28 de milioane de ani), moldavitele\* (15 milioane de ani),

\* Din Cehoslovacia, în zona riului Moldava.



TECTITELE din regiunea Aouelloul (4 milioane de ani), tectitele de pe Coasta de Fildeș și irghizitele (ambele cu numai un milion de ani). Reamintim că australitele sînt cele mai tinere: „numai” 750 000 de ani. O mențione: din punctul de vedere al masei, tectitele din zona Coastei de Fildeș sînt apreciate că ar cîntări în total nu mai puțin de 10 milioane de tone.

Cercetările specialiștilor sovietici în zona craterului Elgîgîtgîn, cu ajutorul mostrelor și al activităților de teledetecție din cosmos, au demonstrat că acest crater, probabil de origine meteoritică, are o vîrstă comparabilă cu a tectitelor australite: între 720 000 și 750 000 de ani. Această constatare a fost consemnată și de specialistul Robert Dietz și a apărut în revistele de specialitate ale anului 1978, inclusiv în „Zemlia i vseennaia”. Ulterior, F. I. Kotlovski avea să demonstreze un fapt surprinzător, care va pune din nou sub semnul întrebării ipoteza că formarea tectitelor ar putea avea contingente cu impactul meteoriților sau al asteroizilor pe Pămînt; impactele descoperite în regiunea craterului Elgîgîtgîn au o vîrstă de cca 3,5 milioane de ani (rezultatul datării prin metoda potasiu-argon). În scopul verificării ipotezei emise de P. Dietz, o expediție științifică a Academiei de Științe a U.R.S.S. s-a deplasat în 1977 în regiunea ciukotkă a lacului Elgîgîtgîn și a verificat cu acest prilej afirmațiile lui Dietz. Corelarea implicațiilor ce derivă din identitatea vîrstei australitelor cu a craterului Elgîgîtgîn rămîne o sarcină a specialiștilor în viitor.

Desigur, astăzi nimeni nu mai contestă „pietrele cerești” fie că sînt asteroizi, meteoriți sau tectite, atît denumirea de mesageri extraterestre cît și aceea de arhivă ale sistemului solar, în principal datorită faptului că, în majoritate, s-au format odată cu

întregul sistem solar, acum 4—4,6 miliarde de ani. Căderea pe Pămînt a ultimilor meteoriți, ca și descoperirea de meteoriți mai vechi sau a tectitelor și impactitelor, furnizează probe de excepție despre începuturile și formarea sistemului solar, ale unora dintre membrii acestui sistem, printre care Pămîntul, Luna, planetele telurice...

Studiul meteoriților a permis elaborarea și confirmarea de modele matematice-termodinamice privind condensarea materiei primare pentru formarea corpurilor cerești din interiorul sistemului solar. Astfel, studiul materiei cuprinse în meteoritul care a căzut la 7 februarie 1969, către ora 1 noaptea, la Allende (Mexic), a permis verificarea modelului propus de cercetătorii de la Universitatea din Chicago, în sensul că nodulii din acest meteorit au demonstrat un proces de îmbogățire în elemente refractare (aluminiu, calciu etc.), exact conform modelului propus încă din 1967 de aceiași cercetători pentru condensarea unui gaz plasmatic cu compoziția analoagă cu a nebuloasei solare. Acest model prevedea că, pe măsura răcirii gazului plasmatic primar, trebuie să se condenseze pe rînd oxizii de aluminiu, silicații de magneziu și de calciu și, apoi, compușii altor elemente mai puțin refractare.

Studiul meteoriților a adus și alte confirmări privind modelul matematic al formării prin condensare succesivă, în noduli independenți, a materiei gazoase plasmatice primare: meteoritul din Allende a confirmat că nodulii săi sînt prea săraci în izotopii 17 și 18 ai oxigenului și prea bogați în izotopul 16, în comparație cu rocile terestre. Ce semnificație are această descoperire? În primul rînd, ea vine să confirme eterogeneitatea gazului plasmatic primar, din care s-au format prin condensare

membrii sistemului solar, precum și eterogeneitatea grăunțelor și a distribuției acestor „nuclee” de condensare a materiei acum solide. În al doilea rând, așa cum se arată într-un raport al Institutului „Enrico Fermi”, această descoperire este printre cele mai tulburătoare ale astrofizicii contemporane, deoarece izotopul 16 al oxigenului *nu a fost „fabricat” în sistemul solar*. Materialul care conține acest izotop a fost încorporat, cel mai probabil, în praful cosmic provenind de la explozia unei supernove, iar acest praf cosmic este, aproape sigur, mult mai „bătrîn” decît însuși sistemul solar. Deci nu este neapărat necesar să se ajungă pe Lună pentru ca, studiindu-se o rocă selenară, să poată fi făcută o incursiune în istoria sistemului solar!

Cercetările asupra meteoriților căzuți pe Pămînt au confirmat faptul că, în procesul de formare a membrilor sistemului solar, a existat o perioadă cînd a apărut izotopul 26 al aluminiului care, prin dezintegrare naturală, a condus la formarea izotopului 26 al magneziului. Descoperirea dovezilor în acest sens în meteoritul Allende (magneziu-26 în proporție de 8—10%), respectiv a prezenței aluminiului-26 în materia primară a meteoritului, a demonstrat încă o dată de ce meteoriții au evoluat diferențiat din punct de vedere chimic, respectiv a existat acea sursă termică capabilă să asigure topirea. Cum energia gravitațională în cazul meteoriților și al asteroizilor, cu mase aproape neglijabile, nu putea în nici un caz fi capabilă de a produce acest proces de topire, singura sursă termică era căldura emisă de la dezintegrarea aluminiului-26. Un exemplu ar putea fi următorul: fie un asteroid mediu, cu diametrul echivalent de 6 km și cu masa de, aproape 3000 miliarde de tone de

materie, în special „hondritică”\*, care putea conține inițial cam 1% aluminiiu, respectiv cam 0,005% aluminiiu-26. În urma calculelor, ținînd seama că în 700 000 de ani  $Al^{26}$  se transformă integral în  $Mg^{26}$ , după „numai” 300 000 de ani în centrul acestui corp ceresc va exista o temperatură de 1800 kelvini, asigurată de „cazanul” radioactiv natural „alimentat” cu 1,5 milioane tone de aluminiiu-26.

Dar ceea ce a fost apreciat că cea mai mare descoperire datorată meteoriților rămîne concluzia derivată din studiul meteoritului Allende, conform căreia materia plasmatică din care s-au format Soarele și planetele sistemului solar nu a format niciodată un nor izotopic omogen antrenat de perturbații interne, ci un ansamblu izotopic eterogen; în acest ansamblu zonele de eterogenitate erau de ordinul sutelor de kilometri, ceea ce este totuși foarte puțin dacă ne raportăm la diametrul inițial al nebuloasei solare (în jurul a 100—300 miliarde de kilometri).

În adevăr, din studiul anomaliilor izotopice detectate în nodulii meteoritului Allende (calciu, neodim, bariu etc.), precum și la alte elemente ușoare (oxigen, magneziu etc.), a reieșit că ele au fost provocate de o cu totul altă cauză decît perturbațiile proprii nebuloasei solare primare, și anume de explozia unei supernove apropiate (în spațiu și în timp) de sistemul solar. Dacă explozia acestei presupuse supernove s-a petrecut cu „nu-

\* Meteoriții pietroși se numesc în proporție de 90% hondriti, deoarece conțin așa-numitele „hondre” — un fel de sferule formate din silicați, avînd diametre de ordinul milimetrilor; la cele din clasa „C” hondrele sînt numeroase, fiind înglobate, împreună cu nodulii bogăți în materiale refractare (aluminiiu, calciu, titan etc.), într-o masă de culoare neagră, conținînd carbon.



mai" câteva milioane de ani înaintea formării sistemului solar, atunci se poate explica în același mod și de ce o parte din aluminiu-26, produs prin această explozie, să fi fost atât de activ în timpul formării Soarelui și a celorlalți membri ai sistemului solar, din care se apreciază că au făcut parte și asteroidul-gazdă al meteoritului Allende. Este de presupus că, prin analiza în continuare a unor asemenea anomalii izotopice prezente în meteorii (pentru kripton, xenon, neon-22 etc.), s-ar putea trage și alte concluzii: de exemplu, asupra unei eventuale repartiții inițiale a supernovelor în apropierea sistemului solar la data formării acestuia\*.

În condițiile foarte speciale ale cosmosului (vid înaintat, radiații, praf meteoritic etc.), au loc transformări care nu se pot observa pe Pământ, cum sînt: procesele din plasma stelară, despre care am amintit, procesele de condensare a gazelor ușoare în atmosfera marilor planete cu temperaturi foarte scăzute, apariția rocilor regolitice de pe Lună sub

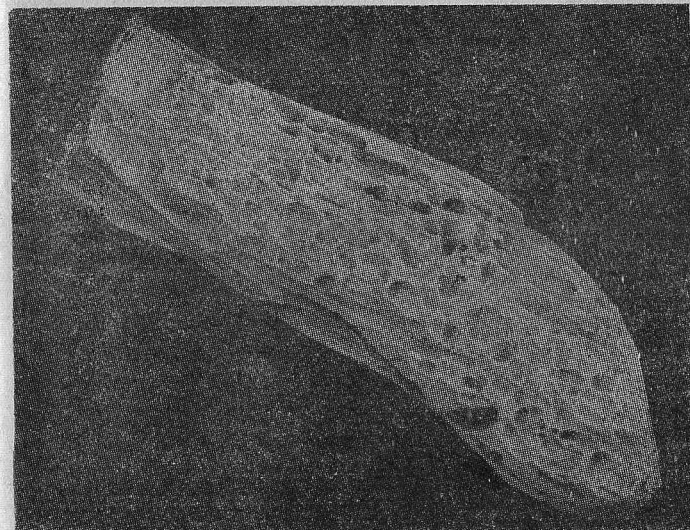


Fig. 18. Tectita din Vietnam.

\* Meteoritul Allende a fost un meteorit de tip pietros sau un aerolit. Meteorii de acest tip sînt cei mai numeroși pe Pământ (se apreciază că ar fi de ordinul a 90% din cei cunoscuți pînă în prezent). Compoziția lor chimică este relativ apropiată de cea a rocilor bazice, care formează crusta oceanică a Pământului. Mai există și meteorii feroși sau sideriți, cu o răspindire foarte redusă, de numai 5%; ei sînt compuși în principal din fier și nichel, în proporții variabile, deși fierul deține, de regulă, majoritatea. Se apreciază că acești meteorii au compoziția foarte asemănătoare cu a materiei din nucleul Pământului. Există și meteorii intermediari, denumiți lithosiderite, cu o răspindire de 2-3%; aceștia au compoziția mixtă, conținînd fier și nichel în proporție de 50% restul fiind constituit de o serie de minerale pe bază de siliciu etc. În ceea ce privește unele subdiviziuni, cum ar fi hondritele, sau chiar hondritele de tip C3, ele evidențiază anumite familii din punctul de vedere al prezenței unor anumiți compuși.

efectul combinat al exploziilor provocate de impactul meteoriiilor, sinteza compuşilor organici complecși etc. Această sumară enumerare a citorva procese asociate apariției și evoluției corpurilor cerești constituie tot atîtea obiecte de studiu pentru chimia spațială. Dar nu acesta este obiectul lucrării de față, ci analiza prin supunere la procese de iradiere a mostrelor de meteorii, praf și rocă selenară, precum și a mostrelor prelevate din tectite. Rezultatele analizelor au pus în evidență că sub influența unor radiații cosmice primare, în interiorul materiei cosmice a avut loc un proces de fisiune naturală cu eliberarea de gaze de origine radioactivă. Studiul foarte intens al acestor gaze neutre, care determină particularitățile de evolu-

Tabelul 3

**Răspîndirea tectitelor în zonele cunoscute astăzi\***

Regiunea	Denumirea	Numărul total de specimene recol- tate
Filipine	Rizalite	500 000
Cehoslovacia	Moldavite	55 000
Australia	Australite	40 000
Malaezia	Bilitonite	7 500
Indochina (Thailanda, Viet-Nam etc.)	Indochinite	40 000
Java	Javanite	7 000
Texas și Georgia	Bediasite	2 000
Cote d'Ivoire	Tectite din Africa	200
Uniunea Sovietică	Irghizite	—
Tasmania	Sticlă Darwin	—
Mauritania	Tectite Aouelloul	—

\* Valorile sînt reproduse din lucrarea prof. R.M. Lyttleton de la Universitatea din Cambridge, Anglia, din care a fost publicată o informare în nr. 8/1971 al Revistei „Spectrum”; cercetări ulterioare, folosind în acest scop lucrările indicate în bibliografie, arată că au fost descoperite tectite și în Uniunea Sovietică etc.

ție a materiei sub acțiunea factorilor chimici, demonstrează fără putință de negație că studiile de cosmochimie sînt absolut necesare pentru a se obține un tablou real al evoluției materiei în Universul apropiat. Desigur, rămîne de demonstrat, spre exemplu, de ce cu preponderență în roca regolitică lunară, gazele sînt de proveniență solară, în timp ce rocile de tip siderit din meteoriți conțin în principal izotopi de tipul magneziului-26. De asemenea, dacă tectitele au permis deducerea unui model de formare și evoluție a interiorului lunar, inclusiv vitezele de producere a acestor procese în etape selenologice, în schimb sînt încă foarte multe necunoscute privind formarea planetelor din norul

protoplanetar. Dacă unele ipoteze presupuneau o viteză relativ ridicată a acestor procese, în schimb studiul reacțiilor nucleare în interiorul meteoriților a respins integral această ipoteză; astfel, prin compararea proporțiilor izotopilor de iod și de xenon (produsul său de dezintegrare naturală), a rezultat că durata procesului de acreție a materiei în norul protoplanetar a fost de sute sau chiar milioane de ani. Această perioadă a fost necesară pentru ca acele gaze care nu au participat direct la procesul de condensare a materiei solide să „scape” în spațiu sub forma unor uriașe jerbe de gaze; atunci cînd temperatura norului plasmatic protoplanetar a atins temperatura corespunzătoare punctului de condensare a substanțelor cele mai refractare (tungsten, molibden, titan etc.), respectiv între 5 000 și 10 000 kelvini, procesul de acreție a ajuns în ultimul său stadiu...

Tot cu ajutorul studiului meteoriților a putut fi dată o explicație privind întrebarea cum a apărut nucleul Pămîntului și de ce acesta conține, în principal, fier? Răspunsul, după studii care au făcut apel nu numai la analiza meteoriților, dar și a rocilor lunare precum și, parțial, a tectitelor, a fost următorul: aliajul fier-nichel a apărut, cel mai probabil, direct din norul protoplanetar. Astfel, în condițiile unei separări integrale a materiei în norul protoplanetar, cîmpul magnetic propriu acestui nor a favorizat în mod constant separarea particulelor feromagnetice de cele dielectrice. În continuare, particule de fier primar s-au aglomerat și au fuzionat sub influența conductibilității termice a fierului. Potrivit savanților specialiști în cosmochimie în general și în analiza meteoriților în special (de exemplu A. Vinogradov), nucleul Pămîntului nu s-ar fi putut forma fără aportul materiei



de tip sideritic sau al unui material similar; sub acest aspect, este semnificativ faptul că meteoriții feroși (sideriții) cad pe Pământ sub forma unor blocuri avînd dimensiuni de ordinul tonelor sau al zecilor de tone, în timp ce meteoriții pietroși (aeroliții) sînt de regulă doar fragmente avînd mase de zeci sau cel mult de sute de kilograme!

Analizele de laborator privind compoziția chimică a tectitelor au condus la următoarele constatări, importante pentru starea și evoluția Lunii: magma selenară a avut un profund caracter reductor, ceea ce a dus la îmbogățirea acesteia în oxizi de fier și în alte elemente cristalizate; formarea craterelor selenare datorită impactului meteoriților sau/și a vulcanismului lunar constituie o etapă îndelungată în evoluția și transformarea reliefului selenar; modelul de structură interioară a Lunii, corelat cu datele de seismicitate, a putut fi acreditat definitiv doar după analiza *combinată* atît a mostrelor prelevate și aduse pe Pământ de astronauți, cît și a tectitelor etc.

Și o ultimă problemă, care nu este deloc de importanță secundară. Cercetările de aerodinamică, balistică și chimie privind tectitele descoperite în apropierea craterelor de impact de natură meteoritică au condus la o ipoteză dintre cele mai interesante: odată cu activitatea vulcanică selenară, ar fi fost posibil ca blocuri imense din interiorul Lunii să fi fost aruncate în spațiu și să lovească Pământul cu viteze cuprinse între 20 și 50 km/s, uneori explodînd în apropierea solului terestru, altele formînd mari cratere de impact. Poate în acest fel s-ar putea explica mai bine zonele (uneori foarte lungi, altele foarte dese) pe care sînt presărate tectite avînd frapante asemănări între ele, dar și cu unele roci de mare adîncime din Pământ, ceea

ce ar contribui și la reconsiderarea teoriilor cosmogonice privind formarea sistemului Pământ—Lună...

Desigur, problema originii tectitelor nu este complet și irevocabil soluționată. Există însă o ipoteză care pare a întruni majoritatea sufragiilor, și anume ipoteza vulcanismului selenar: ea apare ca singura fizic posibilă să fi constituit baza fenomenelor care au stat — acum multe milioane și chiar miliarde de ani — la originea formării curioaselor obiecte sticloase cunoscute sub numele de tectite. În afara argumentelor prezentate, nu ar fi de neglijat și un alt aspect: originea selenară a tectitelor servește foarte bine ipoteza conform căreia Luna s-ar fi format prin rupere din conglomeratul inițial care a dat naștere Pământului. Dacă se admite că tectitele, care au remarcabile asemănări cu unele roci terestre, provin din magma selenară, atunci ar trebui să se admită că și în zona interioară a Lunii ar trebui să se găsească un material foarte asemănător cu cel conținut în stratul terestru superior cunoscut sub numele de „manta”. Și această asemănare pare a fi mult mai mare cu roca existentă în mantaua terestră decît cu cele care se află în zonele de culoare închisă de pe Lună, de unde s-a stabilit că provin bazalturile selenare. Dar dacă se admite că Luna s-a rupt din materia inițială a Pământului, atunci fragmentele care ar fi părăsit Luna ar fi trebuit să atingă temperaturi ridicate, pierzînd astfel o serie de elemente, începînd, bineînțeles, cu cele ușoare. Lavele, care acoperă acum o mare parte a suprafeței selenare, au fost lansate prin erupții chiar în prima parte a istoriei Lunii, cînd majoritatea căldurii sale interne era concentrată în zonele de culoare închisă, foarte aproape de suprafața astrului. Cu cît erupțiile erau mai recente, cu atît trebuie

presupus că tectitele au fost lansate de vulcani mai adânci, deci care au putut expulza materia similară cu cea originară a Pământului. De aici, rezultă și explicația pentru ce tectitele nu seamănă cu rocile selenare de suprafață, ci cu cele terestre din manta.

## BIBLIOGRAFIE

1. Bernatovici, T., ș.a., *Le volcanisme lunaire*, în: „La Recherche” nr. 72, 1976.
2. Chapman, D., *The Lunar Origin of Tektites*, the XIII<sup>th</sup> IAF Congress Varna, 1962.
3. Gurov, E. P., *Meteoritii crater na Ciukotka*, în „Zemlia i vselennaia” nr. 5, 1979.
4. Cargill-Hall, R., *Lunar Impact, A History of Project Ranger*, NASA History Series, NASA SP-4210, STIO, Wash. D.C., 1977.
5. Köhler, E. M., *The Importance of Minor Planet in Space Exploration*, the XIII<sup>th</sup> IAF Congress, Varna, 1962.
6. Markelova, S., *Cluci k planetam*, Izd. „Znanie”, Moskva, 1976.
7. Merleau-Ponty, J., *Cosmologia secolului XX*, Editura științifică și enciclopedică, București 1978.
8. O'Keefe, J. A., *The Tektite Problem*, în „Scientific American” nr. 21 febr. 1979.
9. Oniciu Liviu, *Conversia electrochimică a energiei*, Editura științifică și enciclopedică, București, 1977.
10. Stoenescu, Al., *Elemente de cosmonautică*, Editura tehnică, București, 1962.
11. Ștefan, I. M., *Pietre cerești, planete mici și aștri cu coadă*, Editura tehnică, București, 1956.



12. Tvetkov, V. I., *Nebesnoe jelezo starovo priiska*, în „Zemlia i vseennaia”, nr. 5, 1979.
13. Urey, H. C., *Diamonds, Meteorites and the Origin of the Solar System*, în: „Astrophys. Journal”, 124, 623, 1956.
14. Verne, Jules, *Goana după meteor*, Editura Ion Creangă, București, 1979.
15. Weaver, K. F., *The Moon, Man's First Goal in Space*, în „National Geographic”, vol. 135, nr. 2, febr. 1969.
16. Weaver, K. F., *Apollo-15 explores the Mountains of the Moon*, în „National Geographic”, vol. 141, nr. 2, febr. 1972.
17. Zăgănescu, F., *Ce sint tectitele?* în: „Almanahul Știință și Tehnică”, 1964.
18. Zăgănescu, F., ș.a. *Dicționar de astronomie și astronautică*, Editura științifică și enciclopedică, București, 1977.
19. Zăgănescu, F., *Viitorul aparține spațiului*, Editura Albatros, București, 1980.

## CUPRINS

1. „Tectitele? O importantă problemă științifică” . . . . .	5
2. „Bombardamentul meteoritic” și „astro-problemele”, astăzi și în trecutul îndepărtat . . . . .	11
3. Vulcanismul lunar . . . . .	34
4. Ipoteze privind originea tectitelor . . . . .	54
5. Cosmochimia și descifrarea enigmelor „pietrelor cerești” . . . . .	87
6. Semnificația cosmologică a studiului meteoriților și al tectitelor . . . . .	107
Bibliografie . . . . .	121

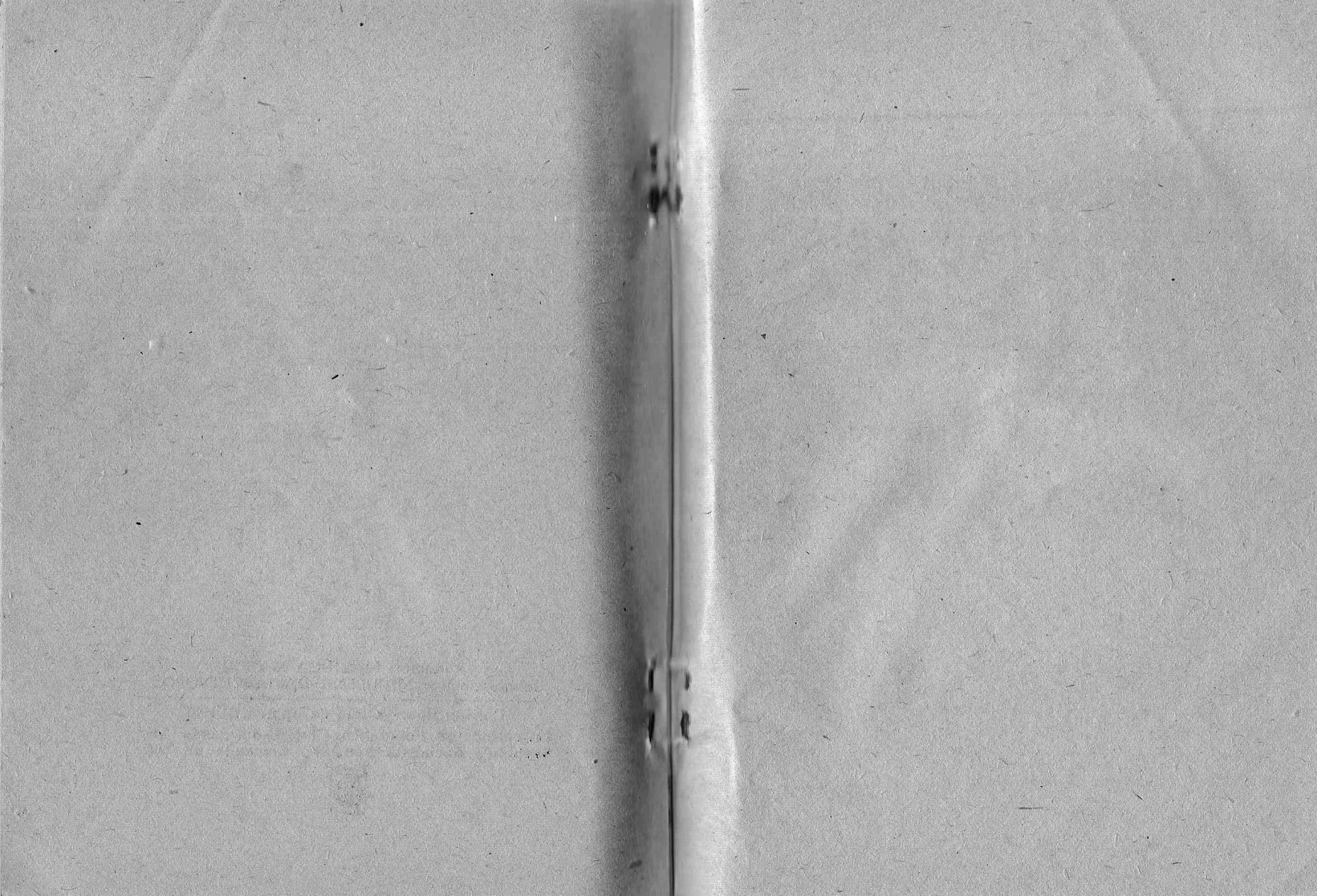
Redactor: MĂRIUCA MARCU  
Tehnoredactor: MARILENA DAMASCHINOPOL

---

Coli de tipar: 4. Bun de tipar: 6.04.1981.  
Întreprinderea Poligrafică Cluj, B-dul Lenin 146  
Republica Socialistă România, Comanda nr. 660







Asemenea corpuri, cu forme curioase, cu aspect curios și contur destul de... aerodinamic, au fost descoperite în diferite regiuni foarte depărtate între ele, pe toate continentele Pământului și chiar pe insule înconjurate de ocean. Ele au primit denumirea de tectite, de la cuvântul de origine greacă „tektos”, care înseamnă „topitură”, și — după aspect — amintesc de roca sticloasă vulcanică complet diferită de a oricărei roci din lava terestră: toate tectitele analizate conțin mai multă apă și nici unul dintre microcristalele caracteristice lavei obsidiene.